

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Программно-методическое обеспечение лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры»

УДК 004.412.2:681.51:536.5:378.162.33

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-8Т51	Сулиев Азиф Джалалович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Конотопский Юрий Владимирович	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронин Александр Васильевич	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Использовать основные естественнонаучные, математические, социально-экономические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Комбинировать теоретические знания и практические навыки для выполнения инженерно-проектировочных работ, иметь представление об областях их применения.
P2	Находить решения для задач инновационного характера. Производить синтез и анализ поставленных задач с применением специальных знаний и современных подходов и моделей.
P3	Осуществлять выбор необходимых технических решений, инструмента и оборудования для выполнения практических и инженерных работ обосновывая целесообразность экономических, экологических, социальных и других решений.
P4	Находить применение знаниям и навыкам, полученным в ходе изучения прикладного программного обеспечения и систем автоматизированного проектирования для ускорения и улучшения качества процесса разработки и внедрения систем автоматизации.
P5	Уметь тщательно выбирать и использовать, техническую литературу, руководства по эксплуатации оборудования и другие источники информации.
P6	Уметь грамотно планировать и проводить тестирование и эксперименты, делать надлежащие выводы о рассматриваемой области, выявлять и четко формулировать полученные сведения, а также производить правильные заключения по итогам испытаний.
P7	Уметь эксплуатировать, внедрять и обслуживать высокотехнологичное оборудование. Обеспечивать высокую производительность используемых технологий, соблюдать правила охраны труда и техники безопасности. Проводить мероприятия по защите окружающей среды.
Универсальные компетенции	
P8	Применять базовые знания и навыки в области ведения проектной деятельности, учитывая юридические особенности по защите интеллектуальной собственности.
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать и жить в интернациональной среде, имея представление о культурных, лингвистических и социально-экономических различиях.
P10	Иметь обширные знания и эрудицию, быть всесторонне развитым и уметь понимать современные общественные и политические проблемы. Иметь представления в вопросах, касающихся безопасности, охраны жизни и здоровья сотрудников, нести ответственность за ведение инженерной деятельности.
P11	Проявлять целеустремленность и любознательность в области инженерной деятельности, преумножая свои навыки и знания. Самостоятельно учиться новому и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т51	Сулиеву Азифу Джалаловичу

Тема работы:

Программно-методическое обеспечение лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры».	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-64с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Лабораторный тепловой объект с лампой накаливания и регулятором тока. Промышленный контроллер КРОСС 500. Программный пакет MasterScada
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1.Описание состава модульного контроллера КРОСС 500. 2.Основные свойства системы ISaGRAF. 3.Описание процесса автоматического регулирования температуры. 4.Разработка функциональной схемы автоматизации. 5.Разработка структурной схемы лабораторного стенда. 6.Разработка схемы внешних соединений 7.Описание программного пакета MasterSCADA. 8.Создание программы импульсного ПИД-регулятора в среде ISaGRAF. 9.Создание программы визуализации в MasterSCADA. 10.Описание алгоритма автоматического регулирования технологическим параметром. 11.Выбор средств для реализации стенда. 12. Разработка методических указаний по выполнению лабораторной работы.
Перечень графического материала	1. Функциональная схема системы контроля и регулирования. 2. Структурная схема лабораторного стенда. 3.Схема внешних соединений. 4.Программа реализации импульсного ПИД-регулятора в ISaGRAF. 5. Математическое описание САР. 6.Кривая переходного процесса САР температуры. 7.Дерево системы. 8.Дерево объекта управления. 9.Мнемосхема САР в MasterSCADA. 10.Состав программно-методического обеспечения по выполнению лабораторной работы. 11.Методические указания по выполнению лабораторной работы.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Конотопский Владимир Юрьевич
«Социальная ответственность»	Матвиенко Владимир Владиславович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.03.2020
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т51	Сулиев Азиф Джалалович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2020	Основная часть	60
18.04.2020	«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20
25.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Владимир Николаевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Александр Васильевич Воронин	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т51	Сулиев Азиф Джалалович

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	АТПП

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР
--	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *График проведения и бюджет НТИ*
2. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.03.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Конотопский Владимир Юрьевич	К. Э. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т51	Сулиев Азиф Джалалович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т51	Сулиеву Азифу Джалаловичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	АТПП

Тема ВКР:

Программно-методическое обеспечение лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лабораторный стенд «Система автоматического регулирования температуры». Разработка предназначена для выполнения лабораторных работ и расположена в учебной аудитории.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования [2]; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [2]. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [3]. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума; - электромагнитное излучение; - недостаточная освещенность; - отклонение показателей микроклимата; - вибрация. Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> - электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> - загрязнение атмосферы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - пожар - взрыв.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т51	Сулиев Азиф Джалалович		

Реферат

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы содержит 194 страницы машинописного текста, 38 таблиц, 85 рисунков, 1 список использованных источников из 23 наименований, 4 приложения.

Цель работы – разработка лабораторного комплекса для знакомства и обучения студентов, обучающихся по специальностям 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», с автоматической системой регулирования построенной на базе контроллера КРОСС 500, а также работе со системой программирования ISaGRAF и программой визуализации процесса регулирования по ПИД-закону в MasterSCADA.

В первой главе пояснительной записки приводится техническое задание. Во второй главе рассматриваются технические характеристики контроллера КРОСС 500. В третьей главе приводится описание состава лабораторного стенда. В четвертой главе приведены характеристики SCADA-систем MasterSCADA. В пятой главе приведены программно-методические рекомендации при выполнении лабораторной работы «Система автоматического регулирования температуры». В шестой главе даётся описание алгоритма автоматического регулирования технологическим параметром. В седьмой главе описана конструкция лабораторного стенда. В восьмой главе приведён выбор средств для реализации лабораторного стенда. В девятой главе описан раздел – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. В десятой главе приведен раздел «Социальная ответственность».

Ниже представлен перечень ключевых слов, используемых в данной работе.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР, ТЕПЛОВОЙ ОБЪЕКТ, ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНТРОЛЛЕР КРОСС 500, ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ MASTERSCAD.

Определения, обозначения и сокращения

В данной работе применены термины с соответствующими определениями:

система автоматического регулирования (САР): это система, служащая для регулирования в объекте управления различных параметров, таких как температура, давление, расход, уровень и многое другое. Значение регулируемого параметра в такой системе должно находиться в заданных пределах;

стандарт МЭК 61131-3: это специальный стандарт, служащий для описания языков программирования для промышленных логических контроллеров;

блок центрального процессора (БЦП): это специальное электронное устройство, входящее в состав программируемого контроллера, как правило, в виде интегральной схемы, выполняющее ряд логических операций;

RS-485, RS-232, TCP/IP Ethernet: это совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой;

SCADA (англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных): Под термином SCADA понимают инструментальную программу для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени и сбора данных;

OPC-сервер: это сервер, предназначенный для сопряжения технологической программы контроллера со средой MasterSCADA;

объект управления (ОУ): объект, в котором система автоматического регулирования должна поддерживать необходимое значение регулируемого параметра;

указатель положения (УП): устройство, представляющее собой переменный резистор, предназначенный для определения текущего положения исполнительного механизма;

блок усиления сигнала (БУС): электронное устройство, служащее для усиления электрической мощности. Данный прибор усиливает либо ток, либо напряжение;

термометр сопротивления (ТСП): датчик для измерения температуры. Суть работы датчика заключается в изменении электрического сопротивления чувствительного элемента, представляющего собой резистор, в зависимости от изменения температуры измеряемой среды;

операторская станция (ОС): рабочее место оператора, в состав которого входит персональный компьютер, система индикации, коммутационные приборы для управления объектом;

автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП): программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием. АСУ ТП предполагает реализацию комплекса решений, способных обеспечить автоматизацию технологических операций на производстве;

пропорционально-интегрально дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор): устройство в контуре управления с обратной связью, предназначенное для автоматического регулирования технологическим параметром;

мнемосхема: наглядное представление технологического процесса для удобства оператора;

тренд: тенденция изменения технологического параметра;

НЭ – нагревательный элемент;

КБС – клеммно-блочное соединение;

ИМ – исполнительный механизм;

РТ – регулятор тока.

Содержание

Введение	16
1 Ключевые требования к стенду	18
1.1 Основная цель создания программно-методического обеспечения лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры» и его назначение	18
1.2 Технические требования для комплекса	19
1.3 Метрологические требования для комплекса	20
1.4 Требования к программному обеспечению	21
2 Назначение, состав и технические характеристики контроллера КРОСС-500	22
2.1 Описание модульного контроллера КРОСС 500	22
2.1.1 Назначение контроллера Кросс 500	22
2.1.2 Область применения.....	23
2.1.3 Основные технические характеристики.....	23
2.1.3.1 Модули ввода/вывода	23
2.1.3.2 Терминальные блоки.....	25
2.1.3.3 Питание контроллера	28
2.1.4 Состав контроллера Кросс 500	28
2.1.5 Структурный состав и принцип работы контроллера Кросс 500.....	30
2.1.5.1 Структура контроллера Кросс 500	30
2.2 Программирование контроллера.....	32
2.2.1 Основные свойства системы ISAGRAF	32
2.2.2 Средства технологического программирования	33

2.2.3 Программы	34
2.2.4 Функции и подпрограммы	35
2.2.5 Функциональные блоки	36
2.2.6 Исполнение алгоритмов.....	36
2.2.7 Инструментальные средства системы ISAGRAF.....	37
3 Описание состава лабораторного стенда, его структурной схемы, функциональной схемы и схемы внешних соединений.....	39
3.1 Процесс автоматического регулирования температуры	39
3.2 Структурная схема лабораторного стенда	43
3.3 Функциональная схема автоматизации процесса.....	44
3.4 Схема внешних соединений.....	46
4 Описание SCADA-системы MasterSCADA.....	49
4.1 Основные характеристики SCADA-системы MasterSCADA	49
4.2 Функциональные возможности MasterSCADA	50
4.3 Настройка OPC-сервера и его предназначение	52
4.4 Создание программ визуализации	53
5 Разработка программно-методического обеспечения	54
5.1 Программа импульсного ПИД-регулятора в среде программирования ISAGRAF	54
5.1.2 Создание программы.....	54
5.1.3 Задание переменных.....	70
5.1.4 Описание порядка обработки информации и формирования управляющих воздействий.....	74
5.1.5 Подключение к контроллеру КРОСС 500.....	77

5.2 Создание программы визуализации процесса автоматического регулирования температуры в среде MASTERSCADA	82
5.3 Методические указания по выполнению лабораторной работы «Создание программы визуализации процесса управления тепловым объектом в пакете MasterSCADA»	93
6 Настройка регулятора.....	97
7 Конструкция лабораторного комплекса	109
8 Выбор средств для реализации лабораторного стенда	111
8.1 Датчик температуры ТС-1088Л/1.....	111
8.2 Электродвигатель реверсивный РД-09	112
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	114
9.1 Организация и планирование комплекса работ.....	114
9.1.1 Продолжительность этапов работ.....	116
9.2 Расчет сметы затрат на реализацию проекта	123
9.2.1 Расчет затрат на материалы	123
9.2.2 Расчет заработной платы	124
9.2.3 Расчет затрат на социальный налог	126
9.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	126
9.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	127
9.2.6 Расчет прочих расходов	128
9.2.7 Расчет общей себестоимости разработки	129
9.3 Определение эффекта от разработанной системы	129
9.3.1 Финансовый эффект	129
10 Социальная ответственность	132

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	133
10.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	133
10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	134
10.2. Профессиональная социальная безопасность.....	136
10.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	136
10.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований	139
10.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	140
10.2.3.1 Повышенный уровень шума.....	140
10.2.3.2 Электромагнитное излучение	142
10.2.3.3 Опасность поражения электрическим током	143
10.2.3.4 Недостаточная освещенность рабочего места.....	143
10.2.3.5 Отклонение показателей микроклимата	144
10.2.3.6 Вибрация	145
10.3 Экологическая безопасность	146
10.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	146
10.3.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования	147
10.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	148
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	148

10.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	148
10.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	149
Заключение	151
Список использованной литературы	152
Приложение (обязательное). Методические указания по выполнению лабораторной работы	154
Приложение Б (обязательное). Программа импульсного ПИД-регулятора в системе ISaGRAF на языке FBD	188
Приложение В (обязательное). Опросный лист для выбора датчика температуры.....	192
Приложение Г (обязательное). Опросный лист для выбора асинхронного электродвигателя	194

Введение

В современном мире сложно представить функционирование и стремительное развитие крупных производственных предприятий, компаний, занимающихся добычей сырья, его переработкой и реализацией, без внедрения технологий автоматизации, которые позволяют ускорить процесс производства, повысить качество производимого продукта, снизить риски возникновения аварийных ситуаций в ходе производства и их скорейшего устранения, обеспечив технологическую безопасность посредством проектирования специальных автоматизированных систем, направленных на защиту от различных аварий.

Наряду с вышеописанными аспектами производственного процесса, важным также является высокий показатель технико-экономического эффекта, который может быть обеспечен в результате внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Учитывая современное экономическое развитие, высокий уровень научно-технического прогресса, неотъемлемым условием внедрения АСУ ТП является широкое применение новейшей вычислительной техники и технологий машиностроения, требуется подготовка высококвалифицированного персонала в сфере автоматизации управления и вычислительной техники, способного проектировать, внедрять, применять и обслуживать средства автоматизации на всех уровнях технологического процесса.

Подготовка квалифицированных специалистов в области автоматизации не возможна без использования в учебном процессе лабораторных стендов, выполненных на базе современных промышленных контроллеров и SCADA пакетов, а также программно-методического обеспечения по выполнению лабораторных работ.

Целью данной работы является разработка программно-методического обеспечения для выполнения лабораторных работ на стенде, выполненном на базе промышленного контроллера КРОСС 500. Выполнение лабораторных работ на данном стенде позволит студентам инженерной школы информационных технологий и робототехники Томского политехнического университета получать практические навыки разработки управляющих программ на базе пакета ISaGRAF и типовых форм визуализации процесса управления на базе интегрированной среды MasterSCADA.

1 Ключевые требования к стенду

1.1 Основная цель создания программно-методического обеспечения лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры» и его назначение

Теоретические знания и сведения в области автоматизации технологических процессов, получаемые студентами в ходе учебного процесса, не всегда могут полностью раскрыть и продемонстрировать суть работы того или иного технологического объекта, управление которым осуществляется за счёт средств автоматизации, состоящей из таких неотъемлемых компонентов как: датчики; коммутационное оборудование; исполнительные устройства; контроллеры; программное обеспечение, в том числе среды по разработке человеко-машинного интерфейса и многое другое. Для полного освоения приобретаемой информации и её практического применения, студентам необходимо выполнять ряд заданий, предполагающих составление алгоритма работы технологического процесса, создание его визуализации на мнемосхеме и настройка всех его параметров. В этой связи возникает необходимость в создании оборудования для осуществления описанных выше действий.

В данной работе требуется произвести разработку комплекса, представляющего собой лабораторный стенд, оборудованный промышленным контроллером КРОСС 500, тепловой камерой, и операторской станцией и предназначенного для получения практических навыков реализации систем автоматического регулирования на базе промышленных микропроцессорных контроллеров на примере системы автоматического регулирования температуры. Для разработки человеко-машинного интерфейса необходимо использовать среду MasterSACADA.

1.2 Технические требования для комплекса

Для рассматриваемого комплекса предусмотрены специальные меры для обеспечения промышленной безопасности. Условия учебной аудитории, в которой будет располагаться разрабатываемый лабораторный комплекс, должны соответствовать требованиям микроклимата в образовательных учреждениях. Температура воздуха в помещении должна находиться в пределах от 20 до 22 °С, относительная влажность воздуха – от 40 до 60 %.

В результате проведенного анализа относительно характеристик лабораторного стенда были выявлены следующие требования:

- стенд должен иметь по возможности минимальные размеры. Это необходимо для того, чтобы на столе можно было разместить различные приборы. Ориентировочные размеры – 260x440x80;
- стенд должен иметь механическую устойчивость к вибрациям;
- стенд должен иметь минимальное количество внешних соединительных проводов и все они должны быть спрятаны в специальные каналы для проводов;
- стенд должен обеспечивать максимальную наглядность при работе с ним;
- контроллер должен иметь модульную архитектуру, позволяющий свободно производить компоновку каналов ввода/вывода. Так как основной целью данной работы является описание лабораторного комплекса на базе контроллера КРОСС 500, то используем именно его;
- тепловая камера должна располагаться в безопасном месте, при этом место её расположения не должно препятствовать наблюдению за происходящим процессом во время лабораторной работы;
- операторская станция, представляющая собой персональный компьютер должна содержать все необходимое программное обеспечение;

- при вводе сигналов с датчиков, допускается использовать как модули с искробезопасными входными цепями, так и внешние барьеры искробезопасности, размещаемые в отдельном конструктиве.

1.3 Метрологические требования для комплекса

Одной из основных задач лабораторного стенда является измерение температуры нагревательного элемента в тепловой камере. Измерение осуществляется при помощи датчика температуры, представляющего собой термометр сопротивления. Также к измерительным каналам рассматриваемой системы относятся такие физические величины как:

- сила тока;
- напряжение;
- мощность.

Измерительные каналы должны обеспечивать получение результатов с нормируемой точностью. Аппаратура, входящая в состав измерительного устройства (чувствительный элемент, усилитель, блок преобразования), должна отвечать необходимым требованиям.

Нормированными метрологическими характеристиками являются основная погрешность и дополнительная погрешность. Основная погрешность датчика температуры не должна превышать 0.5 %. Основная погрешность силы тока, напряжения и мощности не должна превышать 1 %.

Дополнительная погрешность не должна превышать половины основной погрешности при изменении температуры окружающей среды во всем диапазоне рабочих температур и отклонении напряжения питания в допустимых пределах.

1.4 Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение должно выполнять логические и вычислительные операции для выполнения функций сбора, обработки, хранения, управления, передачи и представления в соответствии с функциями системы автоматизации и включать в себя: общесистемное, прикладное программное обеспечение, пользовательское программное обеспечение и программы контроля тестирования.

Общесистемное программное обеспечение должно быть реализовано на основе стандартной операционной системы. Общесистемное программное обеспечение должно быть открытым и обеспечивать возможность изменения конфигурации системы.

Пакет прикладного программного обеспечения должен быть разработан с базовым набором программного обеспечения, включая набор стандартных логических и вычислительных функций, автоматизацию описания параметров и набор современных визуально-графических инструментов, предназначенных для стандартной операционной системы.

Программирование промышленного контроллера должно осуществляться на одном из языков стандарта МЭК 61131-3 [1].

Пакет программного обеспечения для контроля тестирования должен обеспечивать информационную безопасность и работу устройств, включенных в систему автоматизации, как в режиме подключения к технологическим устройствам (online), так и автономно (offline). Программное обеспечение должно быть построено на модульной основе и поддерживать распределенные или централизованные системы управления и контроля.

2 Назначение, состав и технические характеристики контроллера КРОСС-500

2.1 Описание модульного контроллера КРОСС 500

2.1.1 Назначение контроллера кросс 500

Промышленный логический контроллер КРОСС 500 предназначен для эффективного построения архитектуры автоматизированных систем управления различного рода технологических объектов.

Ниже представлен ряд типовых задач автоматизации, для решения которых предназначен рассматриваемый контроллер:

- сбор показаний с датчиков различного рода, их первичная обработка, в рамках которой осуществляется фильтрация полученной информации, её линеаризация, перевод в унифицированный сигнал и т.д.;
- отправка управляющих воздействий на исполнительное оборудование;
- регулирование различных параметров технологического процесса согласно соответствующим законам управления;
- логическое и программное управление технологическими агрегатами, автоматический пуск и останов технологического оборудования;
- математическая обработка данных посредством различных алгоритмов;
- архивирование параметров технологического процесса;
- обмен данными с другими контроллерами в рамках контроллерной управляющей сети реального времени;
- аварийная, предупредительная и рабочая сигнализация, индикация значений прямых и косвенных параметров;
- обслуживание устройств верхнего уровня, прием и пополнение команд; выдача значений параметров и различных сообщений на панель оператора;

- обслуживание технического персонала при наладке, программировании, ремонте, проверке технического состояния контроллера;

- самоконтроль и диагностика всех устройств контроллера в непрерывном и периодическом режимах, вывод информации о техническом состоянии контроллера обслуживающему персоналу.

Объект управляется при помощи программ, написанных инженером на промышленных языках программирования в системе ISaGRAF. Контроллер КРОСС 500 является проектно-компонуемым и программируемым устройством, его состав, программное обеспечение и параметры определяются потребителем и указываются в заказе.

2.1.2 Область применения

Основная область применения контроллера КРОСС 500 - автоматизированные системы управления широкого спектра в различных отраслях энергетики, машиностроения, металлургической, химической, горнодобывающей промышленности и связи, агропромышленного комплекса и т.д.

Контроллер нацелен на построение недорогих систем управления различной алгоритмической и информационной сложности, в зависимости от числа каналов связи:

- макро-системы (до 1920 каналов);
- миди-системы (64-128 каналов);
- мини системы (16-64 каналов).

2.1.3 Основные технические характеристики

2.1.3.1 Модули ввода/вывода

Специальные каналы, предназначенные для реализации входов и выходов, размещены в модулях ввода/вывода. Данные модули бывают постоянного состава и проектно-компонуемого состава.

Модули ввода-вывода подразделяются на аналоговые и дискретные. Каждый модуль имеет свои технические параметры. В таблице 1 представлены модули и их характеристик.

Таблица 1 – Характеристики модулей ввода/вывода

Модуль	Вид и количест во каналов на модуль	Входной/выходной сигнал	Входное сопротивление (сопротивление нагрузки)	Максимальная потребляемая мощность по цепи 24 В, Вт, не более
ТС1-7	7 каналов ввода (каналы 1-7)	Напряжение постоянного тока от -5 до 65 мВ от термопар	>100 кОм	1.25
	1 канал ввода (канал 8)	Сопротивление от термопреобразователя	-	
TR1-8	8 каналов ввода	Сопротивление: (50-100), (100-200) Ом от термопреобразователя (трех проводная схема включения)	-	1.45
AI1-8	8 каналов ввода	Постоянный ток: (0-5) мА, (0-20) мА, (4-20) мА. Напряжение (0-10) В	(400 ± 10) Ом (100 ± 3) Ом > 10 кОм	1.2
AI01-8/0	8 каналов ввода			0.5
AI01-8/4	8 каналов ввода			0.6
	4 канала ввода	Постоянный ток: (0-5) мА, (0-20) мА, (4-20) мА.	< 2 кОм < 0.5 кОм	
AI01-0/4	4 канала ввода			0.12
DI1-16	16 каналов ввода	Дискретный сигнал: - напряжение постоянного тока: (0-7) В – логический «0», (24±6) В – логическая «1»; максимальный ток 0.01 А на один канал по цепи 24 В.	Не менее 2 к Ом	0.12
DI01-8/8	8 каналов ввода			0.40

Продолжение таблицы 1 – Характеристика модулей ввода/вывода

Модуль	Вид и количество каналов в модуль	Входной/выходной сигнал	Входное сопротивление (сопротивление нагрузки)	Максимальная потребляемая мощность по цепи 24 В, Вт, не более
DO1-16	16 каналов в ввода	Дискретный сигнал: - бесконтактный ключ; коммутируемое постоянное напряжение до 40 В; максимальный ток не более: 0.3 А, на один канал, 2.0 А на 8 каналов		0.7

2.1.3.2 Терминальные блоки

Терминальные блоки – это специальные устройства, позволяющие подключать к контроллеру посредством клемм провода, соединенные непосредственно с объектом управления. Провода, в свою очередь, связаны с полевыми устройствами – датчиками и исполнительными механизмами. Каждый терминальный обладает своими параметрами. В таблицах 2 – 4 приведены основные параметры входных и выходных цепей терминальных блоков.

Таблица 2 – Параметры входных и выходных цепей терминальных блоков

Параметр	T1-DI-8	T1-DI-8/220	T1-DI-8/110	T1-DI-8/24	T2-DI-8/220	T2-DI-8/110	T2-DI-8/24
Количество каналов	8	8	8	8	8	8	8
Входной ток канала, мА	5	5	5	5	5	5	5
Напряжение включения канала, В, не более	=(18-24)	~(160-250)	~(80-120)	~(18-30)	=(160-250)	~(80-120)	=(18-30)
Напряжение выключения канала, В, не более	=(0-10)	~(0-80)	~(0-40)	~(0-10)	=(0-80)	=(0-40)	=(0-10)
Напряжение питания блока, В	=24	=24	=24	=24	=24	=24	=24
Потребляемый ток (все каналы «включены»), мА	-	40	40	40	40	40	40
Гальваническое разделение, В, не менее	500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Таблица 3 – Параметры входных и выходных цепей терминальных блоков

Параметр	T1-DO-8R
Количество каналов	8
Коммутируемый ток, А: при напряжении ~250 В и активной нагрузке; при напряжении ~30 В и активной нагрузке; при напряжении ~250 В и $\cos \varphi = 0.4$	10 10 3
Минимальное напряжение коммутации, В *	5
Минимальный ток коммутации, мА *	10
Число циклов коммутации под нагрузкой, не менее *	$1 * 10^5$
Число циклов механической коммутации (без нагрузки), не менее *	$2 * 10^7$
Напряжение питания, В	24
Гальваническое разделение, В, не менее	1500

Таблица 4 – Параметры входных и выходных цепей терминальных блоков

Параметр	T1-DO-8	T1-DO-8S	T1-DO-8P/220	T1-DO-8P/110	T1-DO-8P/24
Количество каналов	8	8	8	8	8
Номинальное напряжение коммутации, В	=(18-30)	~220	~220	~110	~24
Максимальное напряжение коммутации, В, не более	=40	~250	~400	~250	~60
Максимальный ток коммутации, А, не более (один канал)	0.5	1	0.12	0.17	1
Гальваническое разделение, В, не более	1500	1500	1500	1500	5500

2.1.3.3 Питание контроллера

В соответствии с заказом определяются параметры электрического питания контроллера. Существуют две версии осуществления подключения питания:

- от сети переменного однофазного тока с напряжением от 85 до 264 В, и частотой 50 Гц. Коэффициент высших гармоник не должен превышать 5 %;
- от источника постоянного тока напряжением от 18 до 36 В. Чаще всего используются источники напряжением 24 В.

2.1.4 Состав контроллера кросс 500

Рассматриваемый контроллер КРОСС 500 является устройством проектно-компонуемым. Его структура и состав, как правило, зависит от требований потребителя. Сборка данного изделия выполняется из модулей, терминальных блоков, блоков питания и другими устройствами.

Контроллер КРОСС 500 состоит из изделий, приведенных ниже:

- блок центрального процессора (БЦП);
- модули ввода/вывода аналоговых сигналов постоянного состава;
- модули ввода/вывода дискретных сигналов постоянного состава;
- модули ввода/вывода, имеющие проектно-компонуемый состав;
- программируемый микроконтроллер (МК1);
- терминальные блоки;
- гибкие соединения;
- блоки питания;
- модули питания;
- блок переключения;
- пульт для настройки контроллера;
- панель оператора.

На рисунке 1 представлены модули ввода/вывода контроллера КРОСС 500.



Рисунок 1 – Модули ввода/вывода контроллера КРОСС 500

На рисунке 2 изображены терминальный блок, предназначенные для подключения к контроллеру проводов с объекта управления.

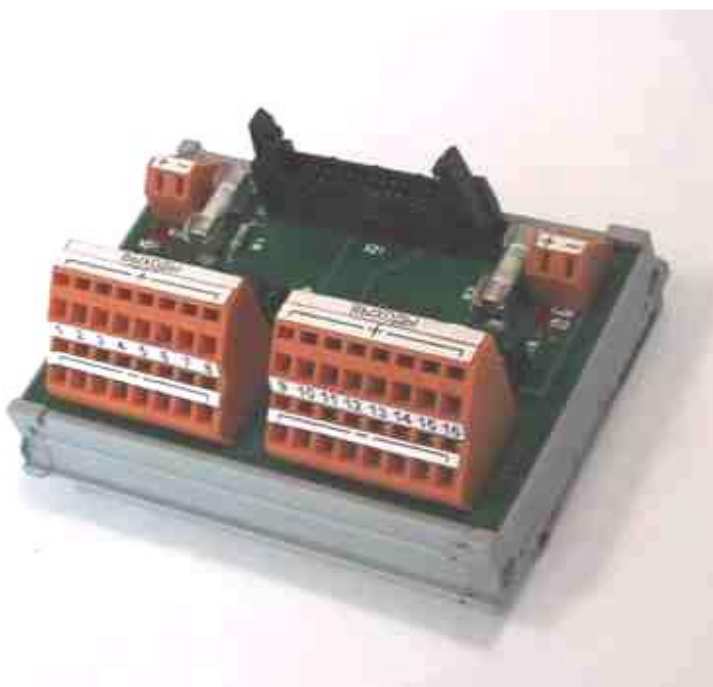


Рисунок 2 – Терминальный блок

2.1.5 Структурный состав и принцип работы контроллера Кросс 500

2.1.5.1 Структура контроллера Кросс 500

Промышленный контроллер КРОСС 500 не имеет базового исполнения, так как это изделие является проектно-компонуемым. Это устройство может функционировать на базе процессорных и микроконтроллерных структур.

Как правило, контроллер имеет процессорную структуру, это говорит о том, что основным устройством, исполняющим рабочий алгоритм контроллера и осуществляющим управление всеми остальными компонентами системы, является блок центрального процессора. На рисунке 3 приведена типовая структура контроллера.

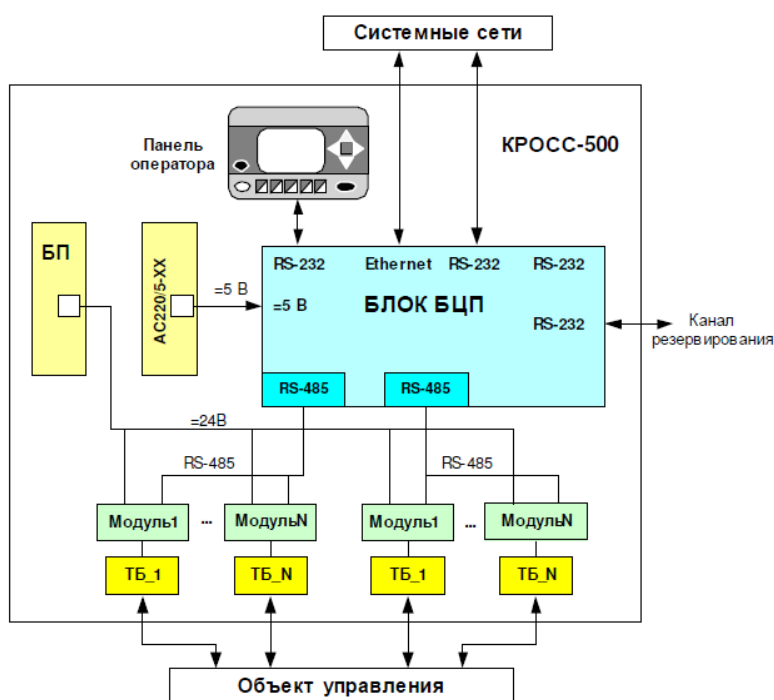


Рисунок 3 – Процессорная структура контроллера КРОСС 500

В качестве внутренней полевой шины используется протокол RS-485. АС220/5-XX – модуль, осуществляющий питание блока центрального процессора (БЦП). ТБ – терминальный блок.

Для повышения производительности контроллера, его динамики и надежности в состав могут быть включены микроконтроллеры, которые параллельно исполняют технологические программы пользователя, обмениваясь данными с блоком центрального процессора.

При проектировании небольших автоматизированных систем в состав контроллера необязательно включать БЦП. В таких системах основной алгоритм технологической программы пользователя выполняется посредством микроконтроллера МК1. МК1 может использовать модули ввода/вывода в количестве до четырех штук.

На рисунке 4 продемонстрирована микроконтроллерная структура контроллера КРОСС 500.

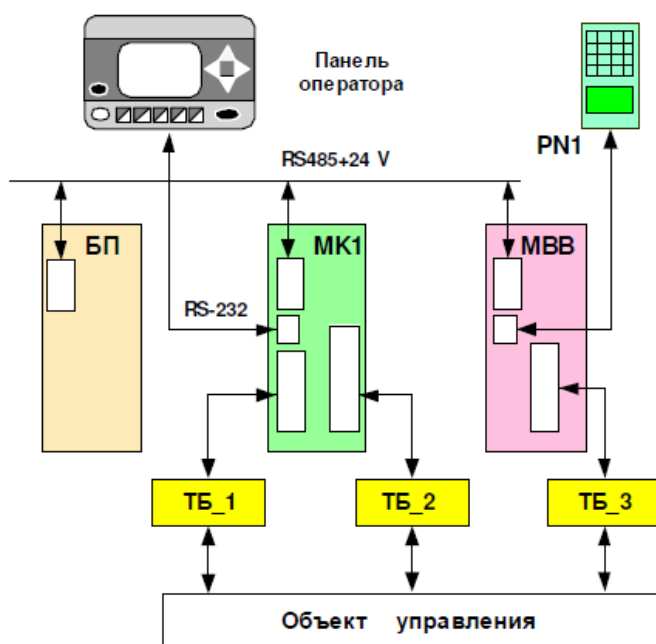


Рисунок 4 – Микроконтроллерная структура контроллера КРОСС 500

Связь с панелью оператора осуществляется за счет протокола RS-232. БП – блок питания. MBB – модули ввода/вывода.

2.2 Программирование контроллера

2.2.1 Основные свойства системы ISAGRAF

Контроллеры КРОСС 500, ТРАССА и Ремиконт Р 130 ISa являются устройствами семейства программно- и системно- совместимых приборов, облегчающих:

- переносимость технологических программ между контроллерами семейства;
- возможность работать в одной контроллерной сети и взаимодействия по единым сетевым протоколам;
- связь с верхним уровнем с помощью единого OPC- сервера.

Это становится возможным благодаря использованию в контроллерах данного семейства знаменитой среды разработки ISaGRAF, соответствующей международному стандарту открытых систем IEC 1131-3. За счет этого обеспечивается совместимость контроллеров семейства с контроллерами многих других производителей, использующих ISaGRAF.

ISaGRAF представлен в виде двух частей: набора средств разработки ISaGRAF Workbench и исполняемого на контроллере ядра- интерпретатора ISaGRAF Target. Разработка алгоритмов выполняется на компьютере проектировщика, например, компьютере типа IBM PC, и состоит из редактора, отладчика и препроцессора, который представляет составленный программистом алгоритм к формату, который читается ядром- интерпретатором. Данный набор средств программирования обладает современным пользовательским интерфейсом, позволяющим тестировать алгоритм в режиме симуляции и получать его листинг на языках стандарта IEC 1131-3. Ядро- интерпретатор ISaGRAF Target размещается в контроллере в качестве его резидентного программного обеспечения.

После написания, пользовательская программа загружается в контроллер, посредством которого осуществляется её выполнение. Ядро- интерпретатор, согласно его названию, транслирует пользовательский

алгоритм во время исполнения. Это позволяет сконцентрировать машино-зависимый код и таким образом снизить накладные расходы при переходе на другой контроллер.

В ISaGRAF представлены все шесть языков стандарта IEC 1131- 3: четыре графических языка (SFC, FC, FBD, LD) и два текстовых (ST и LT). Центральный язык ISaGRAF - SFC, который задает структуру алгоритма по шагам и переходам. Другие языки в основном служат для описания этапов и условных операций во время перехода, то есть направлены на самостоятельное использование. Он имеет возможность расширять набор языковых инструментов за счет языка «С», то есть пользователь может создавать пользовательские функции на языке «С» и связывать их с ядром-интерпретатором. CJ International гарантирует перевод ядра-интерпретатора на любую платформу С компилятор. Основной интерпретатор написан на языке «С».

2.2.2 Средства технологического программирования

Средства технологического программирования ЦП используют систему разработки ISaGRAF Workbench в соответствии со стандартом МЭК 1131-3, расширенную новыми алгоритмами, в том числе из библиотеки контроллера КРОСС 500, а также средствами конфигурирования пульта технолога- оператора. Система содержит шесть типов технологических языков, грамматика которых многократно описана в литературе:

- язык последовательных функциональных схем SFC (происхождение – язык Grafset фирмы Telemecanique- Groupe Schneider);
- язык потоковых диаграмм FC (происхождение- логические блок-схемы алгоритмов);
- язык функциональных блоков FBD, расширенный библиотекой алгоритмов Р-130 (происхождение – функциональные схемы электронных устройств);

- язык линейных диаграмм LD (происхождение – различные варианты языка релейно- контактных схем фирмы Allen- Bradley, AEG Schneider Automation, GE- Fanuc, Siemens);
- язык структурированного текста ST (происхождение – язык Grafset фирмы Telemecanique- Groupe Schneider);
- язык инструкций IL (происхождение – язык STEP 5 фирмы Siemens).

Язык функциональных блоков FBD, знакомый многим потребителям, построен на библиотеке элементарных арифметических, логических и динамических функций в системе ISaGRAF и не содержит сложных алгоритмов. Некоторые сложные алгоритмы могут быть «извлечены» из элементарных функций с помощью ISaGRAF, что расширяет стандартную библиотеку, но требует дополнительных усилий, снижает скорость выполнения и значительно увеличивает размер технологической программы. Кроме того, система ISaGRAF не предоставляет энергонезависимой памяти для значений внутренних переменных функционального блока FBD для бесконечного перезапуска, и нет никаких процедур обратного отсчета для переключения из ручного режима в автоматический режим.

2.2.3 Программы

Приложение представляет собой логически программируемую единицу, которая отрабатывает алгоритмы с помощью переменных процесса. Программы описывают либо последовательные, либо итерационные операции. Итерационные программы реализуются для каждого цикла целевой системы. Выполнение последовательных программ определяется динамическими правилами языка SFC.

Программы связаны друг с другом в иерархическое дерево. Программы, помещенные наверху иерархии, активизируются системой. Подпрограммы (нижний уровень иерархии) активизируются их родителями.

Программы могут быть описаны любым из графических или текстовых языков:

- язык последовательных функциональных схем (SFC) для программирования высокого уровня;
- язык потоковых диаграмм (FC);
- язык функциональных блоков (FBD), для сложных циклических операций;
- язык релейных диаграмм (LD) только для булевых операций;
- язык структурированного текста (ST) только для циклических операций;
- язык инструкций (IL) для операций низкого уровня.

Одна программа не может смешивать несколько языков, за исключением LD и FBD, которые могут быть скомбинированы в одной диаграмме.

2.2.4 Функции и подпрограммы

Выполнение подпрограмм или функций контролируется их главной программой. Выполнение родительской программы откладывается до тех пор, пока подпрограмма не завершит свою работу. Любая программа в любой части может иметь одну или несколько подпрограмм. Любой язык может использоваться для описания подпрограмм кроме SFC. Программы функциональных секций – это подпрограммы, которые могут быть вызваны любой другой программой в проекте. В отличие от других подпрограмм, они не принадлежат какой-либо родительской программе. Приложения в одном разделе функций могут вызывать другие программы в том же разделе. Функции могут быть размещены в библиотеке.

2.2.5 Функциональные блоки

Функциональные блоки могут использовать языки: LD, FBD, ST или IL. Локальные переменные функциональных блоков копируются для каждого экземпляра. Когда программа вызывает блок, это фактически вызывается экземпляр блока: используется тот же код, но только данные, хранящиеся специально для этого экземпляра блока. Значения выборочных переменных передаются из одного цикла в другой.

Функциональный блок, написанный на одном из языков, не может вызывать другой функциональный блок: механизм экземпляров позволяет работать только с локальными переменными блока.

2.2.6 Исполнение алгоритмов

ISaGRAF- это синхронная система. Все операции выполняются по циклам. Основная единица длительности времени называется временным циклом в соответствии с рисунком 5.

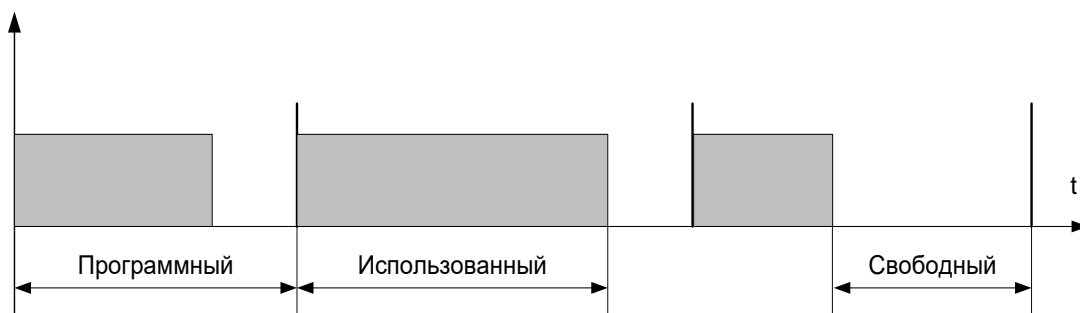


Рисунок 5 – Временной цикл

Основные операции, протекающие в ходе временного цикла, представлены на рисунке 6.

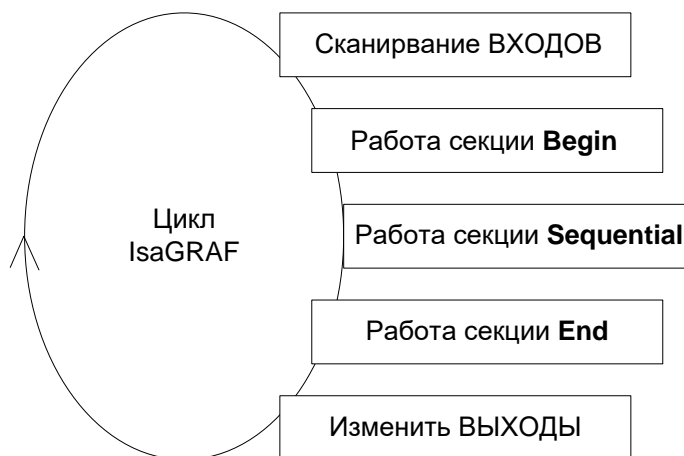


Рисунок 6 – Операции, протекающие в ходе временного цикла

Это позволяет системе:

- гарантировать, что выходные переменные сохраняют свое значение в течение временного цикла;
- гарантировать, что устройства вывода изменяются не более одного раза в течение временного цикла;
- правильно работать с одними и теми же глобальными переменными из различных программ;
- оценивать и управлять временем реакции всего приложения.

2.2.7 Инструментальные средства системы ISAGRAF

В состав системы входят следующие средства:

1. Средства ввода и редактирования:

- редактор SFC;
- редактор FC;
- редактор FBD/LD;
- редактор Quick LD;
- текстовый редактор;
- редактор словаря;
- редактор соединения ввода-вывода;

- таблицы преобразований;
- редактор перекрестных ссылок.

2. Генератор кода.

3. Средства отладки.

- графический отладчик;
- просматривание переменных;
- прожектор;
- симулятор.

4. Выгрузка.

5. Менеджер библиотек.

6. Архиватор.

7. Генератор документов.

8. Средства защиты [2].

3 Описание состава лабораторного стенда, его структурной схемы, функциональной схемы и схемы внешних соединений

3.1 Процесс автоматического регулирования температуры

Поддержание заданной температуры внутри объекта, должно достигаться посредством автоматического регулирования яркости лампы накаливания, используемой в качестве нагревательного элемента.

На рисунке 7 представлена схема объекта управления. Объект управления представляет собой тепловую камеру, в которой находится лампа накаливания.

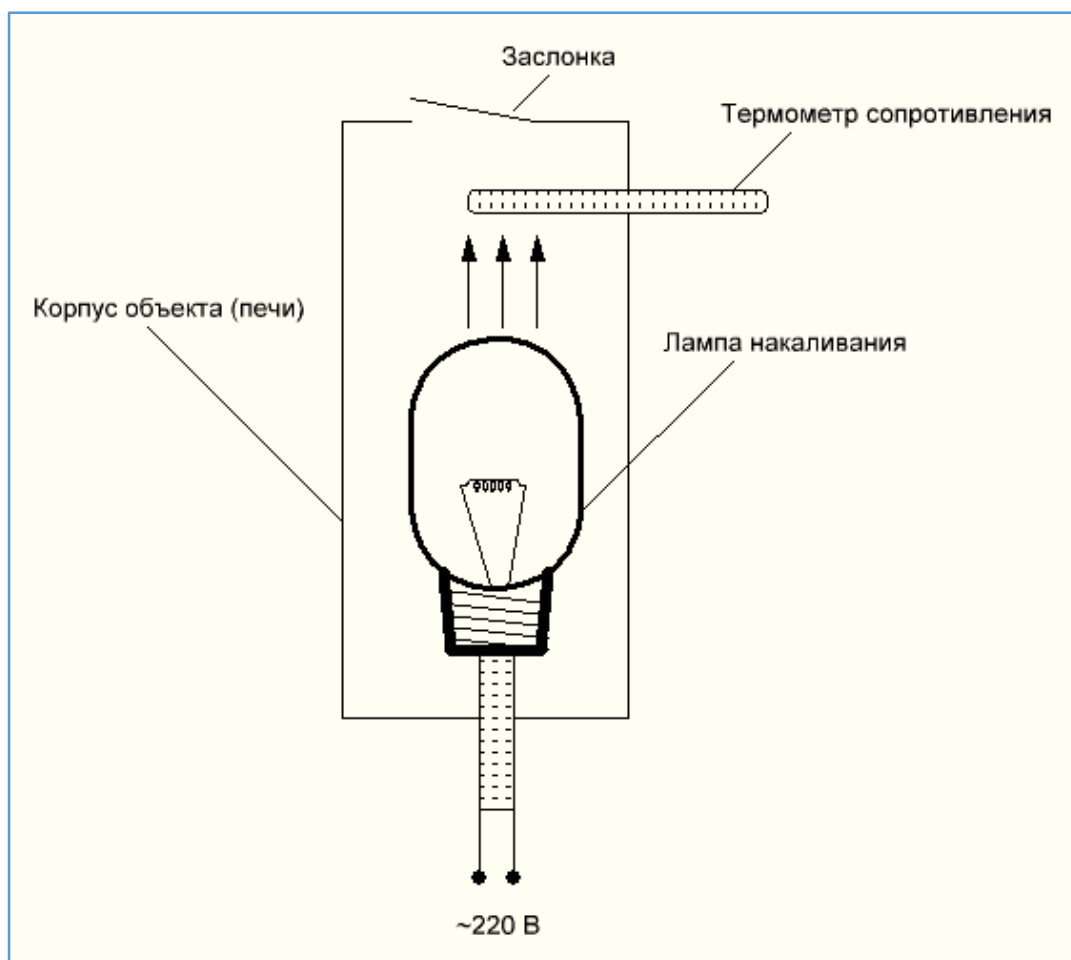


Рисунок 7 – Схема объекта управления

Лампа накаливания прогревает воздух внутри камеры от 26 до 127 °С. В качестве нагревательного элемента служит лампа накаливания мощностью 75 Вт. Её питание осуществляется из сети 220 В. При использовании схемы с нагревателем в виде лампы накаливания, система способна быстро отреагировать на изменение задающего воздействия, потому что лампа накаливания, как нагревательный элемент, имеет невысокую инерционность. Для быстрого охлаждения воздуха внутри печи, в её корпусе предусмотрена специальная воздушная заслонка. В качестве датчика температуры выступает термометр сопротивления.

Термометр сопротивления измеряет температуру в печи, а система регулирования на основе текущего значения температуры формирует управляющее воздействие. Управляющее воздействие в виде напряжения поступает на регулятор тока, который управляется от переменного сопротивления 22 кОм, расположенного на валу исполнительного механизма. Посредством этого регулятора изменяется ток лампы пропорционально управляющему воздействию. При вращении вала исполнительного механизма изменяется сопротивление, в результате чего меняется ток, потребляемый лампой накаливания, что, в итоге, приводит к тому, что лампа светится либо ярче, либо тусклее, в зависимости от управляющего воздействия [3].

Охарактеризуем регулятор тока. Регулятор тока работает как прямой преобразователь напряжения переменного тока. Для наглядного представления принципа работы регулятора тока рассмотрим простейшим пример исполнения данного устройства, работающего на обычных тиристорах с естественной коммутацией от сети переменного тока. Данный тип регуляторов получил большое распространение за счет простоты конструкции. На рисунке 8 представлена однофазная схема, являющаяся основой для простейших регуляторов тока с естественной коммутацией тиристоров. Основной составляющей данной схемы являются тиристоры, включенные встречно-параллельно.

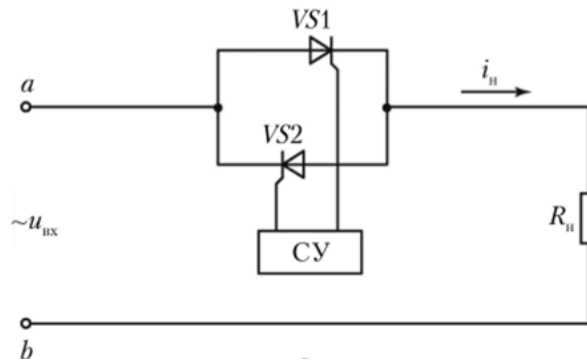


Рисунок 8 – Схема регулятора тока на встречно-параллельных тиристорах

В рассматриваемом примере в качестве активной нагрузки, обозначенной на схеме как резистор с сопротивлением R_H , используется лампа накаливания, которая, в свою очередь, является нагревательным элементом нашего объекта. Все оставшиеся компоненты схемы можно считать идеальными. Моменты включения тиристоров определяются системой управления (СУ) за счет подачи импульсов на электроды тиристоров. Формирование управляющих импульсов происходит с синхронно с напряжением сети в фазе, которая соответствует углу управления α (рисунок 9).

При включении тиристора VS1 в момент времени $\vartheta_1 = \alpha$ входное напряжение прикладывается к нагрузке с сопротивлением R_U . Ток в цепи активной нагрузки повторяет форму напряжения $U_{вх}$. При спадании его до нуля тиристор VS1 выключается. В момент времени ϑ_2 включается тиристор VS2, после чего процессы протекают циклически. Если угол управления $\alpha = const$, то можно выразить следующую зависимость действующего значения выходного напряжения от угла α :

$$U = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} * U_{ab} * \sin \vartheta)^2 d\vartheta} = U_{ab} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}, \quad (1)$$

где U – выходное напряжение, В;
 U_{ab} – действующее значение входного напряжения, В;
 ϑ – угловая частота сетевого напряжения;
 α – угол управления.

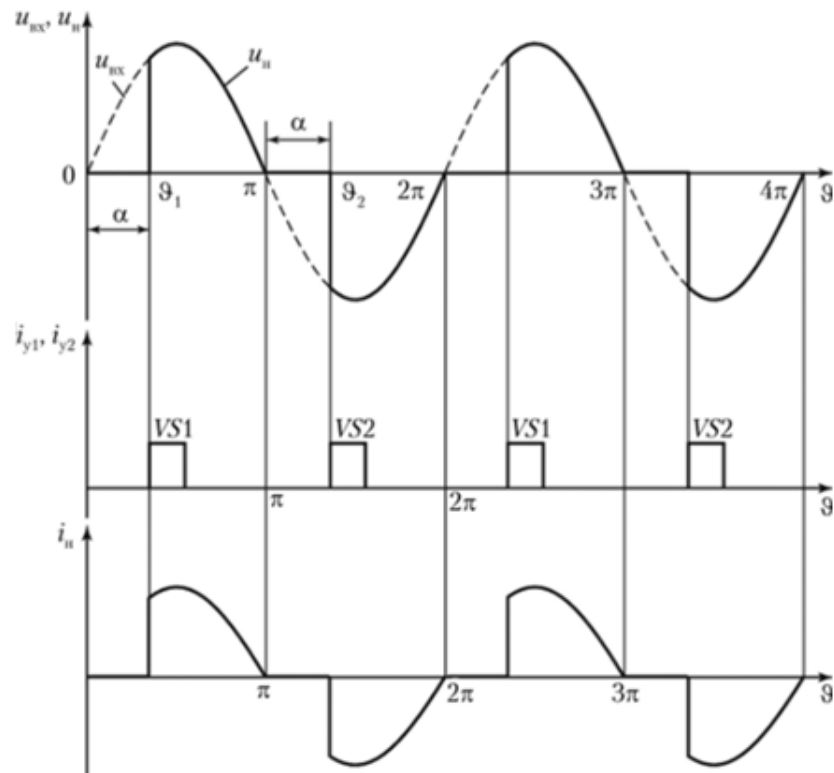


Рисунок 9 – Диаграмма работы при активной нагрузке

Изменением угла α можно регулировать действующее значение напряжения, а соответственно и ток в цепи.

Помимо прочего вал исполнительного устройства оснащен переменным сопротивлением 3 кОм, представляющим собой потенциометр. Данный элемент служит в качестве указателя положения вала исполнительного механизма.

3.2 Структурная схема лабораторного стенда

На рисунке 10 представлена разработанная в процессе выполнения ВКР структурная схема лабораторного стенда.

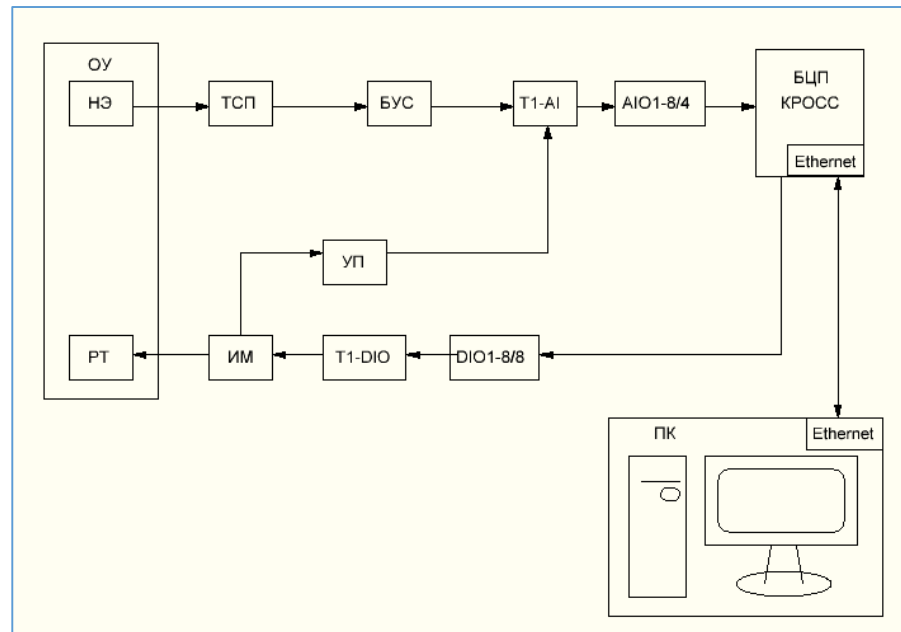


Рисунок 10 – Структурная схема системы

На рисунке использованы следующие обозначения:

- ОУ – объект управления;
- НЭ – нагревательный элемент;
- ТСП – термометр сопротивления;
- БУС – блок усиления сигнала;
- Т1-АИ – аналоговый терминальный блок;
- АЮ1-8/4 – аналоговый модуль ввода/вывода;
- РТ – регулятор тока;
- УП – указатель положения;
- ДТБ – дискретный терминальный блок;
- ИМ – исполнительный механизм;
- ДЮ1-8/8 – дискретный модуль ввода/вывода;
- Т1-ДИО – дискретный терминальный блок;

- ОС – операторская станция.

Как было описано выше, в роли нагревательного элемента используется лампа накаливания мощностью 75 ватт для сети переменного тока напряжением 220 вольт. В качестве термометра используется термометр сопротивления ТСП-50. Диапазон измерений данного чувствительного элемента составляет от минус 200 °С до 650 °С. Сопротивление изменяется от 17.28 Ом до 333.25 Ом. Это сопротивление преобразуется в унифицированный токовый сигнал 0-5 мА с помощью блока усиления сигналов резисторных датчиков БУС-10. На выходе усилителя подключен резистор сопротивлением 1 кОм, падение напряжения на котором пропорционально протекающему току и изменяется от 0 до 5 В. Это напряжение поступает в аналоговый терминальный блок, который также входит в состав контроллера КРОСС 500. Терминальный блок, в свою очередь, связан с модулем ввода/вывода посредством гибких соединений. С модуля ввода/вывода сигнал идет в процессорную часть контроллера, где формируется управляющее воздействие. Управляющее воздействие подает импульсы на исполнительный механизм. Регулятор тока изменяет мощность нагрузки, пропорционально приложенному напряжению от 0 до 5 В, поданного на выводы управления. Информация на операторскую станцию вводится с помощью интерфейсов RS-232, TCP/IP Ethernet.

3.3 Функциональная схема автоматизации процесса

Одним из неотъемлемых документов технологического процесса является функциональная схема автоматизации. Она позволяет отразить основные положения структуры и объема автоматизированной системы.

На рисунке 11 представлена функциональная схема автоматизации системы автоматического регулирования температуры.

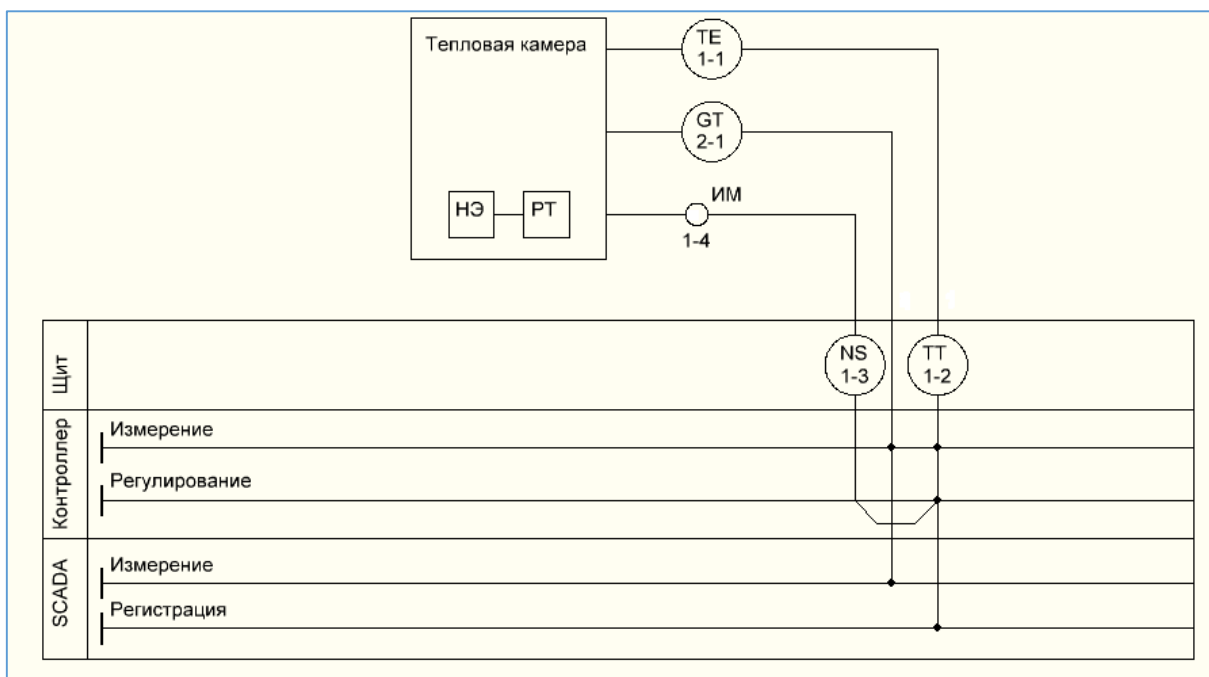


Рисунок 11 – Функциональная схема автоматизации

ТЕ – термометр сопротивления; ТТ – измерительный преобразователь; NS – пусковая аппаратура; ИМ – исполнительный механизм; GT – датчик положения исполнительного механизма; НЭ – нагревательный элемент; РТ – регулятор тока.

Первичный преобразователь представляет собой термометр сопротивления (позиция 1-1), установленный непосредственно в тепловой камере. Сигнал с термометра сопротивления поступает на измерительный преобразователь (позиция 1-2), находящийся на щите. Затем унифицированный токовый сигнал поступает на контроллер для регистрации полученной информации и формирования управляющего воздействия. Для визуализации хода теплового процесса информация о текущей температуре поступает на SCADA-систему, где происходит регистрация и отображение данных в реальном времени.

После того, как контроллер сформировал управляющее воздействие, информация поступает на пусковую аппаратуру (позиция 1-3). Пусковая аппаратура, в зависимости от характера управляющего воздействия, управляет исполнительным механизмом (ИМ), представляющим собой

реверсивный электродвигатель. В свою очередь, вал электродвигателя вращаясь воздействует на регулятор тока, который изменяет ток путем изменения сопротивления переменного резистора. За счет изменения тока меняется температура нагревательного элемента.

Первичный преобразователь, находящийся на позиции 2-1, представляет собой датчик положения исполнительного механизма. Информация о его положении также поступает на контроллер и в SCADA-систему.

3.4 Схема внешних соединений

Схема внешних соединений представлена на рисунке 12. Как видно из рисунка, лабораторный стенд состоит из теплового объекта, модулей ввода/вывода сигналов и терминальных блоков, входящих в состав контроллера. А также клеммно-блочных соединений (КБС), блоков питания (БП), персонального компьютера (ПК), блока усиления мощности (БУМ).

В состав теплового объекта входят: нагревательный элемент (НЭ), представляющий собой лампу накаливания; термометр сопротивления, обозначенный на схеме как ТЕ; блок усиления сигнала (БУС-10); исполнительный механизм; блоки питания на 24 В и на 6 В. Термометр сопротивления подключен непосредственно к клеммной колодке блока усиления сигналов резистивных датчиков БУС-10.

Подключение к контроллеру осуществляется посредством разъема ХТ6.

В состав котроллера КРОСС 500 входят следующие компоненты:

- блок центрального процессора (БЦП);
- модуль ввода аналоговых сигналов Т1-АІ;
- терминальный блок, осуществляющий соединение Т1-АІ с БЦП;
- модуль ввода/вывода дискретных сигналов Т1-ДІО;
- терминальный блок для подключения Т1-ДІО к БЦП;
- блок питания DRA60-24 для питания БЦП и Т1-ДІО.

Управление процессом осуществляется при помощи операторской станции, представляющей собой персональный компьютер (ПК), подключенной к контроллеру.

В схеме также присутствуют реле, контакты которых используются в цепях управления реверсивного электродвигателя. Питание на катушки реле подается от блока питания БП-1, который питается от сети переменного тока напряжением 220 В. На рисунке 13 приведена схема управления двигателем РД-09.

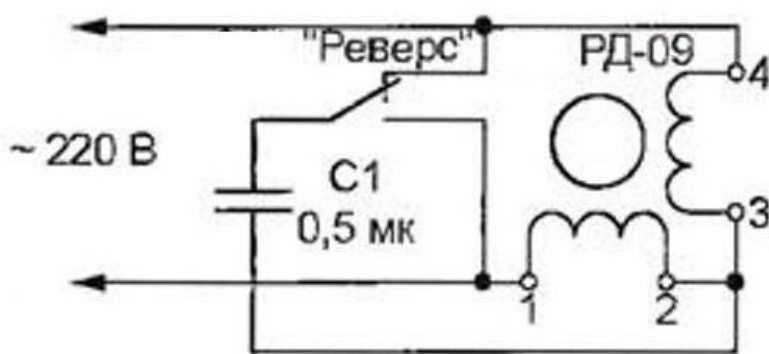


Рисунок 13 – Схема управления двигателем РД-09

4 Описание SCADA-системы MasterSCADA

4.1 Основные характеристики SCADA-системы MasterSCADA

Для разработки, обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации обо всех параметрах управляемого технологического объекта, применяется специальный программный пакет, называемый SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных). SCADA-система может использоваться во всех отраслях промышленности, в которых необходимо обеспечивать управление технологическими процессами посредством автоматизированных рабочих мест и осуществлять операторский контроль в реальном времени.

Современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента, представленные на рисунке 14.

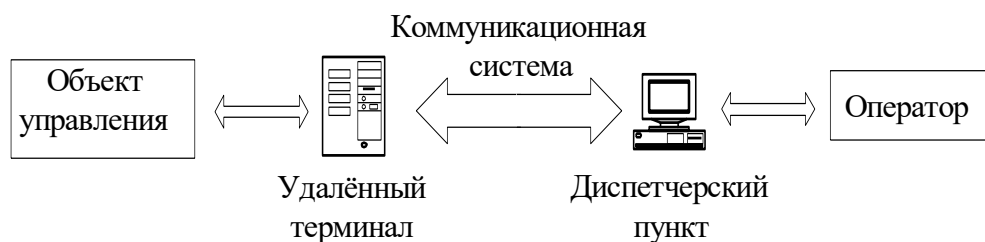


Рисунок 14 – Структурные компоненты SCADA-системы

Почти все программные пакеты со SCADA-системами имеют одинаковый перечень функциональных возможностей:

- разработка автоматизированных систем без необходимости программирования;
- сбор первичной информации о состоянии полевых устройств.
- обработка полученной информации;
- регистрация аварийных сигналов и их архивирования;

- хранение всей истории протекания технологического процесса с дальнейшей обработкой всей информации;
- визуализация процессов управляемого объекта с использованием мнемосхем, графиков, средств регулирования, сигнализации и т.п.

MasterSCADA – это новый инструмент разработки автоматизированных систем, средства и методы которого обеспечивают значительное снижение трудозатрат и повышение надежности проектируемой системы. MasterSCADA – это полнофункциональный пакет программ с расширяемой функциональностью. Пакет построен на клиент-серверной архитектуре с возможностью функционирования, как в локальных сетях, так и в Интернете.

Реализация приема и передачи данных и технических сообщений осуществляется на базе стандарта OPC (Open Platform Communication), встроенного в ядро пакета.

Программный пакет MasterSCADA имеет ряд преимуществ:

1. единая среда разработки и проектирования АСУТП;
2. отдельное конфигурирование структуры АСУТП и логической структуры объекта;
3. открытость и следование стандартам;
4. интуитивная легкость освоения:
 - удобство инструментария;
 - удобство методики разработки;
 - мощная трехмерная графика и мультимедиа;
 - неограниченная гибкость вычислительных возможностей.
5. объектный подход.

4.2 Функциональные возможности MasterSCADA

Интерфейс пользователя MasterSCADA представляет собой довольно простую структуру, единый внешний вид. Программа состоит из палитры

компонентов библиотеки, окна для редактирования документов и древовидного проекта. На рисунке 15 представлено окно проекта.

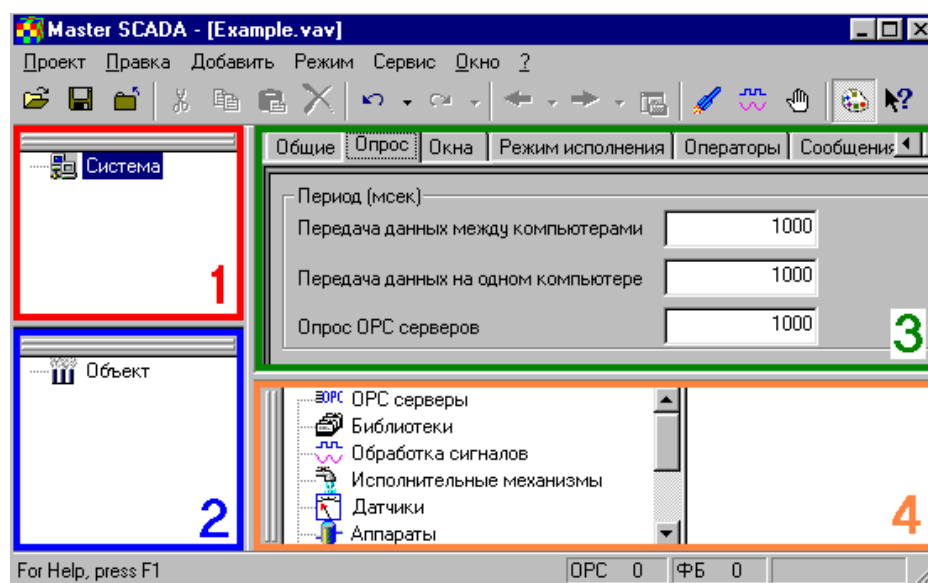


Рисунок 15 – Окно проекта

В области 1, выделенной красным цветом, представлено дерево системы. Оно содержит элементы конфигурации такие, как компьютеры, OPC серверы, и т. д. Область 2, выделенная синим цветом имеет дерево объектов, которое включает в себя объекты, переменные, группы переменных, функциональные компоненты. В области 3, выделенной зеленым цветом содержится перечень страниц свойств всех компонентов для настройки необходимых компонентов. Палитра компонентов представлена в области 4, выделенной коричневым цветом. Она позволяет брать библиотечные компоненты и функциональные блоки.

Размеры дерева системы, дерева объектов и палитры можно изменять, и они могут располагаться в любом месте экрана. Страницы свойств занимают все оставшееся пространство.

Средства программного пакета позволяют:

- вести обработку данных;
- составлять сценарии наступления событий;

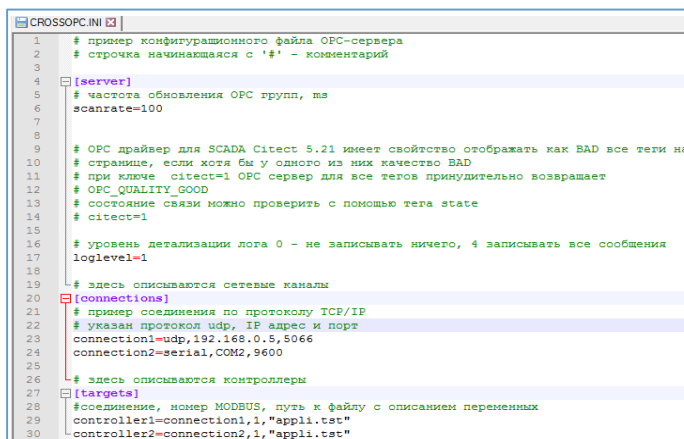
- создавать схемы и мнемосхемы, тренды;
- выдавать сообщения и составлять рапорты;
- вести архивирование;
- обмениваться данными по сети;
- ограничивать права доступа и вести контроль действий оператора;
- отлаживать созданные программы;
- повышать надежность работы.

4.3 Настройка OPC-сервера и его предназначение

OPC-сервер предназначен для связи и обмена данными между технологической программой пользователя контроллера КРОСС-500 и SCADA-системой, посредством интерфейса, который определяется спецификацией OPC Data Access 2.0.

Настройка OPC осуществляется посредством изменения файла crossopc.ini, который расположен в каталоге установки OPC – сервера. Это текстовый файл в стиле стандартных ini-файлов Windows, расположенный в директории C:\Program files\ КРОСС\ OPC\ CROSSOPC.

На рисунке 16 представлен пример конфигурационного файла OPC – сервера.



```

1  # пример конфигурационного файла OPC-сервера
2  # строка начинающаяся с '#' – комментарий
3
4  [server]
5  # частота обновления OPC групп, мс
6  scanrate=100
7
8
9  # OPC драйвер для SCADA Citect 5.21 имеет свойство отображать как BAD все теги на
10 # странице, если хотя бы у одного из них качество BAD
11 # при ключе citest=1 OPC сервер для все тегов принудительно возвращает
12 # OPC_QUALITY_GOOD
13 # состояние связи можно проверить с помощью тега state
14 # citest=1
15
16 # уровень детализации лога 0 – не записывать ничего, 4 записывать все сообщения
17 loglevel=1
18
19 # здесь описываются сетевые каналы
20 [connections]
21 # пример соединения по протоколу TCP/IP
22 # указан протокол udp, IP адрес и порт
23 connection1=udp,192.168.0.5,5066
24 connection2=serial,COM2,9600
25
26 # здесь описываются контроллеры
27 [targets]
28 #соединение, номер MODBUS, путь к файлу с описанием переменных
29 controller1=connection1,1,"appli.tst"
30 controller2=connection2,1,"appli.tst"
  
```

Рисунок 16 – Пример конфигурационного файла OPC – сервера

4.4 Создание программ визуализации

Программа визуализации в пакете MasterSCADA функционирует за счет переменных, объявленных в среде программирования ISaGRAF. Связь визуализации с технологической программой, написанной в ISaGRAF, обеспечивается OPC-сервером. Таким образом, при создании программы визуализации необходимо произвести настройку OPC-сервера, а затем запустить его [4].

5 Разработка программно-методического обеспечения

5.1 Программа импульсного ПИД-регулятора в среде программирования ISAGRAF

5.1.2 Создание программы

Для автоматического регулирования температуры в тепловом объекте необходимо создать программу, базирующуюся на технологии ПИД-регулирования. ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально дифференцирующий регулятор) – устройство в контуре управления с обратной связью. ПИД-регулятор применяется в системах автоматического регулирования для создания управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. Сигнал, формируемый ПИД-регулятором, является суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе – интеграл сигнала рассогласования, третье – производная сигнала рассогласования.

Рассмотрим процесс составления программы в системе ISaGRAF 3.46.

Запуск системы программирования ISaGRAF 3.46 осуществляется щелчком по соответствующей пиктограмме, после чего открывается окно управления проектами, представленное на рисунке 17.

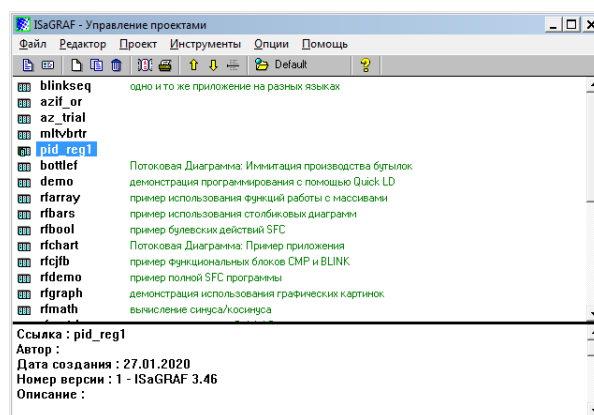


Рисунок 17 – Окно управления проектами

Далее открываем вкладку *Файл* и в выпадающем списке выбираем пункт *Новый*. Создаваемому проекту необходимо дать имя, затем в выпадающем списке *Конфигурация В/В* выбираем пункт *Ничего* (рисунок 18).

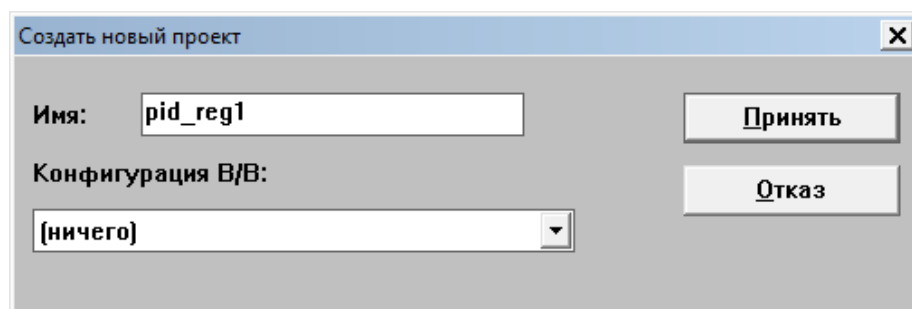


Рисунок 18 – Имя проекта

После создания нового проекта необходимо войти в него дважды щелкнув на его имя. В открывшемся окне создаем программу открыв вкладку *Файл* и выбрав пункт *Новый* (рисунок 19).

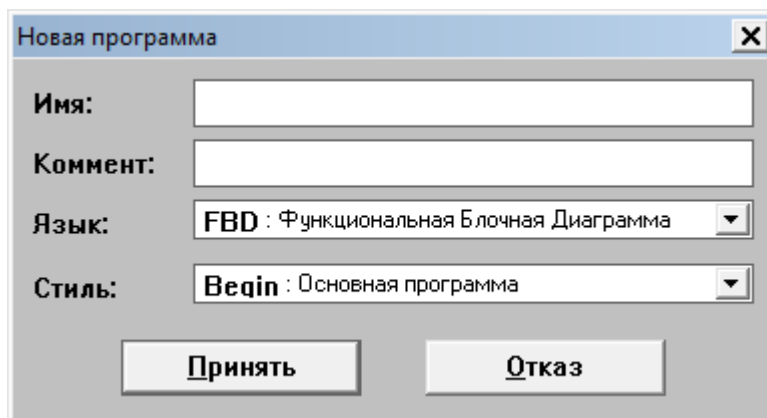


Рисунок 19 – Окно создания новой программы

В строке *Имя* пишем название новой программы, в строке *Комментарий* – комментарий к программе, в строке *Язык* выбираем *FBD: Функциональная Блочная Диаграмма*. В строке *Стиль* выбираем *Begin: Основная программа*.

Далее заходим в созданную программу и приступаем к её реализации посредством выбора всех необходимых функциональных блоков,

находящихся на панели компонентов. На рисунке 20 представлена данная панель.

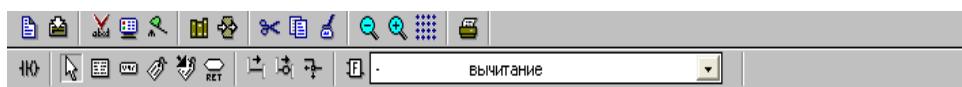


Рисунок 20 – Панель компонентов

В выпадающем списке на панели инструментов (рисунок 21) представлено меню выбора функциональных блоков, необходимых для составления алгоритма программы.

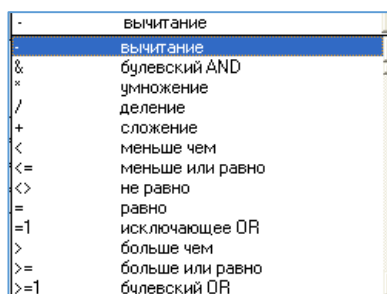


Рисунок 21 – Меню выбора функциональных блоков

Для составления программы импульсного ПИД-регулятора, потребуется следующий перечень функциональных блоков:

Аналоговый ввод/вывод (craio). За счет данного функционального блока осуществляется ввод/вывод с модуля, предназначенного для подключения к контроллеру КРОСС. Так как в данной работе осуществляется лишь ввод аналогового сигнала из теплового объекта, то выходы этого функционального блока не используются. На рисунке 22 представлен данный функциональный блок.

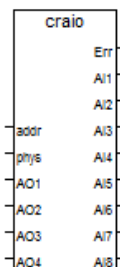


Рисунок 22 – Ввод/вывод аналоговых сигналов с контроллера КРОСС

Обозначение входов и выходов описаны в таблице 5. Здесь и далее перед номером каждого выхода стоит литера «S».

Таблица 5 - Обозначение входов и выходов блока craio

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	addr	Адрес модуля
01	BOOL	phys	Признак необходимости преобразования
02	REAL	AO1	Аналоговый выход
03	REAL	AO2	Аналоговый выход
04	REAL	AO3	Аналоговый выход
05	REAL	AO4	Аналоговый выход
S0	REAL	Err	Код ошибки
S1	REAL	AI1	Аналоговый вход
S2	REAL	AI2	Аналоговый вход
S3	REAL	AI3	Аналоговый вход
S4	REAL	AI4	Аналоговый вход
S5	REAL	AI5	Аналоговый вход
S6	REAL	AI6	Аналоговый вход
S7	REAL	AI7	Аналоговый вход
S8	REAL	AI8	Аналоговый вход

Вычитание (-). Алгоритм используется для вычитания двух переменных (второй от первой) целого и (или) действительного типа.

В таблице 6 приведен перечень входов и выходов функционального блока «Вычитание».

Таблица 6 – Перечень входов и выходов функционального блока «Вычитание»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	In1	Первое значение
01	REAL	In2	Второе значение
S0	REAL	Q	Результат вычитания

Графическое изображение функционального блока «Вычитание» представлено на рисунке 23.

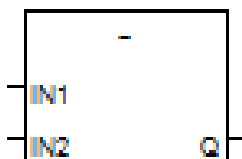


Рисунок 23 – Функциональный блок «Вычитание»

Ограничение (ogr). В текущей программе данный функциональный блок используется дважды. Алгоритм этого функционального блока применяется для ограничения верхней и (или) нижней границы диапазона изменения сигнала.

На рисунке 24 представлен функциональный блок ограничения.

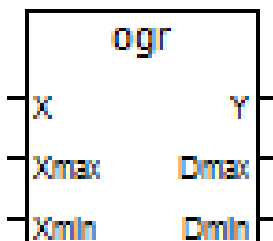


Рисунок 24 – Функциональный блок ограничения (ogr)

Входы и выходы данного блока приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Входы и выходы блока ogr

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	X	Вход
01	REAL	Xmax	Верхняя граница ограничения
02	REAL	Xmin	Нижняя граница ограничения
S0	REAL	Y	Выход

Продолжение таблицы 7 – Входы и выходы блока ogf

Номер	Тип	Обозначение	Описание
S1	REAL	Dmax	Достижение верхней границы
S2	REAL	Dmin	Достижение нижней границы

Логическое «И» (AND). У данного функционального блока может быть два или более входов булевого типа. Выход у данного блока один, он также имеет булевский тип. На выходе появляется сигнал логической единицы, когда все входы имеют состояние логической единицы.

В таблице 8 приведены входы и выходы функционального блока «Логическое «И».

Таблица 8 – Входы и выходы функционального блока «Логическое «И»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	BOOLEAN	In1	Первое значение
n	BOOLEAN	In...n	n-ое значение
S0	BOOLEAN	Q	Результат

На рисунке 25 представлен функциональный блок оператора AND.

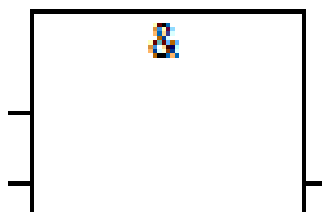


Рисунок 25 – Функциональный блок оператора «Логическое «И».

Умножение ().* Алгоритм данного функционального блока заключается в перемножении чисел целого и (или) действительного типа. Он также может содержать два и более входов. В таблице 9 приведены входы и выходы функционального блока «Умножение».

Таблица 9 – Входы и выходы функционального блока «Умножение»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	In1	Первое значение
n	REAL	In2	n-ое значение
S0	REAL	Q	Результат умножения

На рисунке 26 представлено графическое изображение функционального блока «Умножение».



Рисунок 26 – Функциональный блок «Умножение»

Дифференцирование (dif). Алгоритм применяется в схемах динамической коррекции для получения сигналов, связанных со скоростью изменения параметра.

В таблице 10 приведены входы и выходы функционального блока «Дифференцирование».

Таблица 10 – Входы и выходы функционального блока «Дифференцирование»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	X	Основной вход
01	REAL	Km	Коэффициент усиления
02	REAL	Td	Постоянная времени дифференцирования
03	BOOL	C0	Обнуление
S0	REAL	Y	Выход

На рисунке 27 представлен функциональный блок «Дифференцирование».

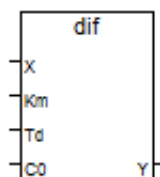


Рисунок 27 – Функциональный блок «Дифференцирование»

Интегрирование (integr). Алгоритм данного функционального блока используется для интегрирования и (или) запоминания сигнала. В таблице 11 содержится перечень входов и выходов данного функционального блока.

Таблица 11 – Входы и выходы функционального блока *integr*

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	X	Основной вход
01	REAL	Ti	Постоянная времени интегрирования
02	BOOLEAN	Cbeg	Команда установки начальных условий
03	REAL	Xbeg	Значение начальных условий
04	REAL	Xmax	Уровень ограничения по максимуму
05	REAL	Xmin	Уровень ограничения по минимуму
06	REAL	Xpor	Установка порогового элемента
07	BOOLEAN	Czb	Сигнал запрета в направлении «Больше»
08	BOOLEAN	Czm	Сигнал запрета в направлении «Меньше»
S0	REAL	Y	Основной выход
S1	BOOLEAN	Dmax	Ограничение по максимуму
S2	BOOLEAN	Dmin	Ограничение по минимуму
S3	BOOLEAN	D	Выход порогового элемента

На рисунке 28 представлено графическое изображение функционального блока «Интегрирование».

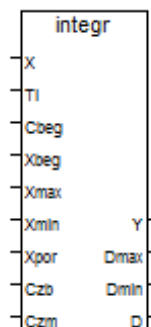


Рисунок 28 – Функциональный блок «Интегрирование»

Сложение (+). Алгоритм используется для сложения двух и более переменных целого и (или) действительного типа.

Таблица 12 содержит входы и выходы оператора «Сложение».

Таблица 12 – Входы и выходы оператора «Сложение»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	In1	Первое значение
n	REAL	In...n	n-ое значение
S0	REAL	Q	Результат сложения

На рисунке 29 представлено графическое изображение функционального блока «Сложение».

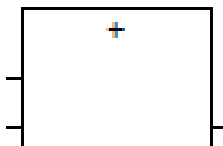


Рисунок 29 – Функциональный блок «Сложение»

Формирователь импульсного вывода по заданной скважности (improut). Алгоритм применяется в тех случаях, когда контроллер должен управлять исполнительным механизмом постоянной скорости.

Входы и выходы алгоритма *Impout* приведены в таблице 13

Таблица 13 – Входы и выходы алгоритма *Impout*

Номер	Тип	Обозначение	Описание
01	REAL	X	Входной сигнал
02	REAL	Tmin	Минимальная длительность импульса
03	REAL	Tlb	Длительность импульса выборки люфта в направлении «больше»
04	REAL	Tlm	Длительность импульса выборки люфта в направлении «меньше»
S0	BOO	Db	Сигнал «больше»
S1	BOO	Dm	Сигнал «меньше»

Функциональный блок алгоритма приведен на рисунке 30.

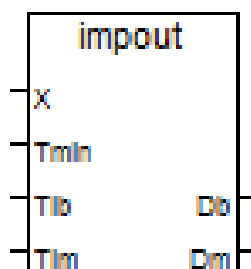


Рисунок 30 – Функциональный блок формирователя импульсного вывода

Мерцающий сигнал (blink). Данный алгоритм выполняет генерирование мигающего сигнала.

В таблице 14 приведены входы и выходы функционального блока *blink*.

Таблица 14 – Входы и выходы функционального блока *blink*

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	BOO	RUN	Режим: TRUE=мигать/ FALSE=сброс выхода в FALSE
01	TMR	CYCLE	Период мигания
S0	BOO	Q	Выходной мигающий сигнал

На рисунке 31 представлен функциональный блок blink.

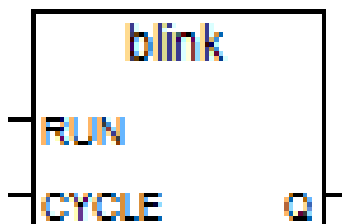


Рисунок 31 – Функциональный блок blink

Фильтр (fil). Алгоритм используется для фильтрации высокочастотных помех, а также для динамической коррекции. Фильтр, имеющий порядок выше первого, можно получить путем последовательного включения нескольких алгоритмов FIL.

Данный алгоритм является фильтром нижних частот первого порядка. Ниже представлена его передаточная функция (2):

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{1}{Tf * p + 1}, \quad (2)$$

где Tf – постоянная времени фильтра;

X – основной вход; Y – основной выход.

В таблице 15 приведены входы и выходы фильтра.

Таблица 15 – Входы и выходы фильтра

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	REAL	X	Основной вход
01	REAL	Tf	Постоянная времени фильтра
S0	REAL	Y	Основной выход

На рисунке 32 представлен функциональный блок фильтра.

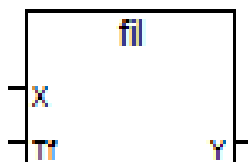


Рисунок 32 – Функциональный блок фильтра

Абсолютное значение (abs). Алгоритм даёт абсолютное значение действительной величины.

В таблице 16 представлены вход и выход функционального блока «Абсолютное значение».

Таблица 16 – Вход и выход функционального блока «Абсолютное значение»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
01	REAL	IN	Любая знаковая аналоговая величина
S0	REAL	Q	Модуль аналоговой величины

На рисунке 33 представлено графическое изображение функционального блока «Абсолютное значение».

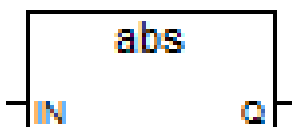


Рисунок 33 – Блок оператора «Абсолютное значение»

Больше или равно. Этот оператор выполняет сравнение двух величин. У данного функционального блока есть два входа, которые могут иметь тип INT, REAL, MSG. Выход имеет булевский тип. Сравнимые величины должны быть одного типа. Выход будет иметь состояние логической единицы тогда, когда аргумент первого входа будет больше аргумента второго входа или равен ему.

На рисунке 34 представлен функциональный блок оператора больше или равно.

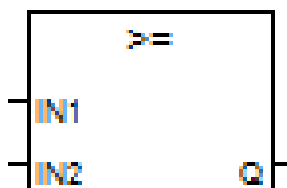


Рисунок 34 – Функциональный блок оператора «Больше или равно»

В таблице 17 представлен перечень входов и выходов блока «Больше или равно».

Таблица 17 – Перечень входов и выходов блока «Больше или равно»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	INT-REAL-MSG	IN1	Первый вход
01	INT-REAL-MSG	IN2	Второй вход
S0	BOOLEAN	Q	Выход

Ввод дискретных сигналов (crDIN16). Блок предназначен для ввода дискретных сигналов с модуля ввода, состоящего в комплектации контроллера КРОСС. На рисунке 35 представлен функциональный блок crDIN16.

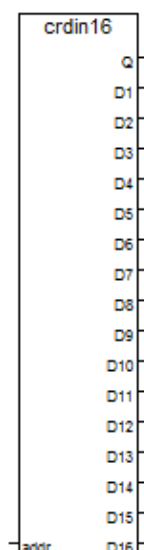


Рисунок 35 – Функциональный блок crDIN16

Этот функциональный блок имеет 16 дискретных входов (D1...D16).
addr – адрес модуля. Q – код ошибки.

Вывод дискретных сигналов (crDOUT16). Блок предназначен для вывода дискретных сигналов с модуля вывода, состоящего в комплектации контроллера КРОСС. На рисунке 36 представлен функциональный блок crDOUT16.

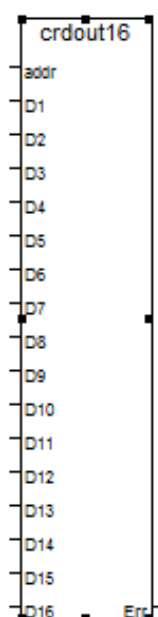


Рисунок 36 – Функциональный блок crDOUT16

Этот функциональный блок имеет 16 дискретных выходов (D1...D16).
addr – адрес модуля. Err – код ошибки.

Логическое (ИЛИ). Алгоритм данного функционального блока устроен таким образом, что на вход могут подаваться два и более значений булевского типа, а на выходе формируется сигнал логической единицы, если на входе хотя бы одно из значений истинно.

В таблице 18 представлены входы и выходы функционального блока «Логическое «ИЛИ»».

Таблица 18 – Входы и выходы функционального блока «Логическое «ИЛИ»»

Номер	Тип	Обозначение	Описание
00	BOOLEAN	In1	Первое значение
n	BOOLEAN	In...n	n-ое значение
S0	BOOLEAN	Output	Результат

На рисунке 37 представлено графическое изображение функционального блока «Логическое «ИЛИ»».

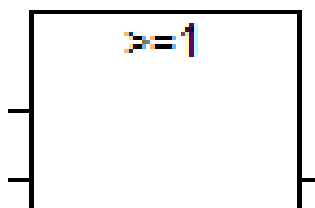


Рисунок 37 – Функциональный блок «Логическое «ИЛИ»»

Схема реализации импульсного ПИД-регулятора на языке FBD представлена на рисунке 38. Также в приложении Б данная программа представлена в более наглядном виде.

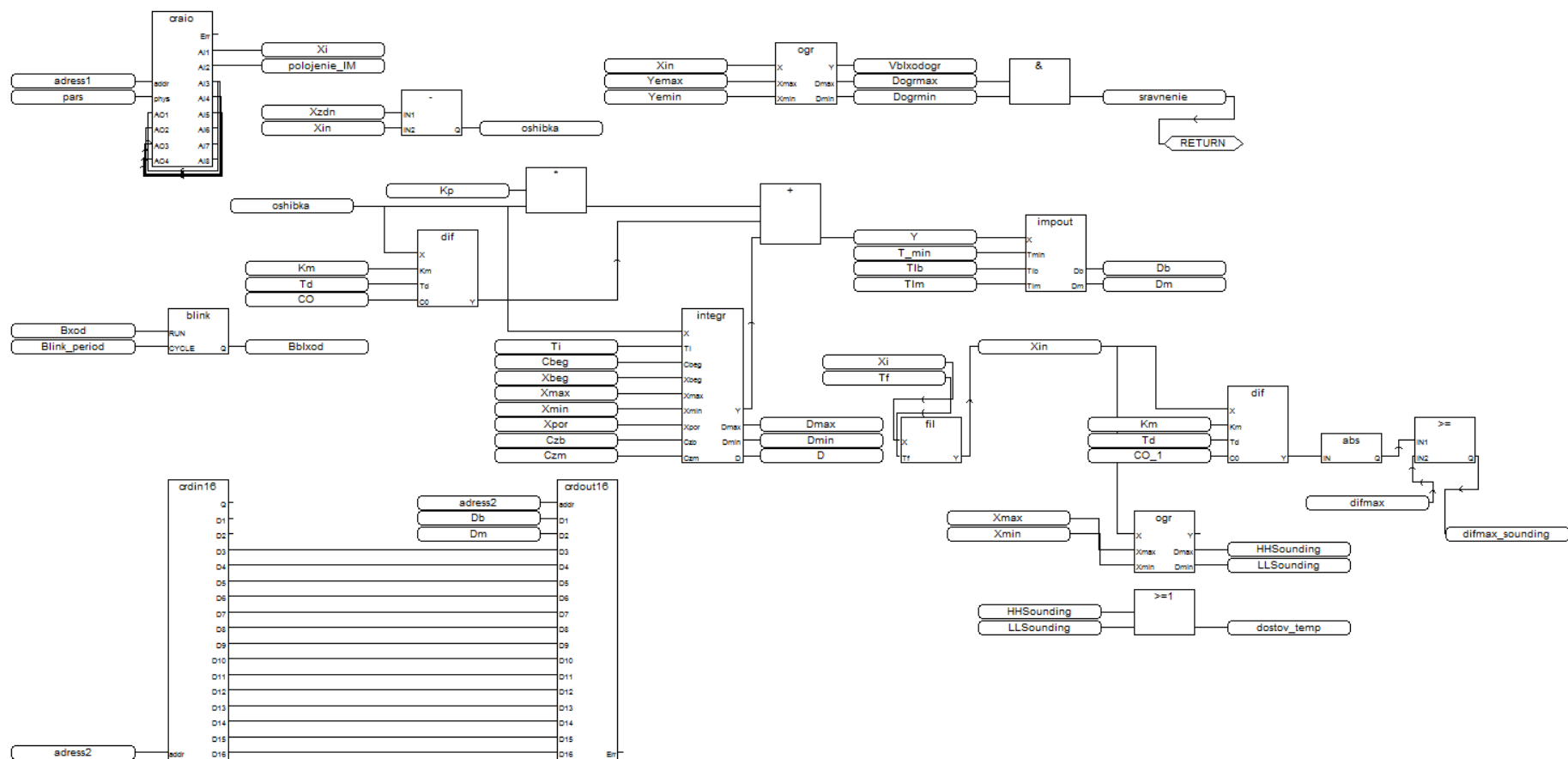



Рисунок 38 – Схема реализации импульсного ПИД-регулятора на языке FBD

После ввода сигнала, характеризующего текущее значение температуры, осуществляется проверка достоверности информации. Проверка достоверности осуществляется с помощью функциональных блоков *dif* и *ogr*. Затем осуществляется формирование управляющего воздействия по ПИД-закону. Реализация регулятора осуществляется с помощью функциональных блоков умножения, суммирования, интегрирования и дифференцирования (*integr*, *dif*). Для формирования импульсного управляющего воздействия используется функциональный блок импульсатора (*improut*), а для вывода импульсного сигнала используется функциональный блок вывода дискретного сигнала (*crdout16*). Более детальное описание данной программы представлено ниже.

5.1.3 Задание переменных

Далее необходимо задать переменные в функциональные блоки. Для этого используем кнопку «вставить переменную» , находящуюся на панели инструментов. После нажатия кнопки появляется окно, изображенное на рисунке 39.

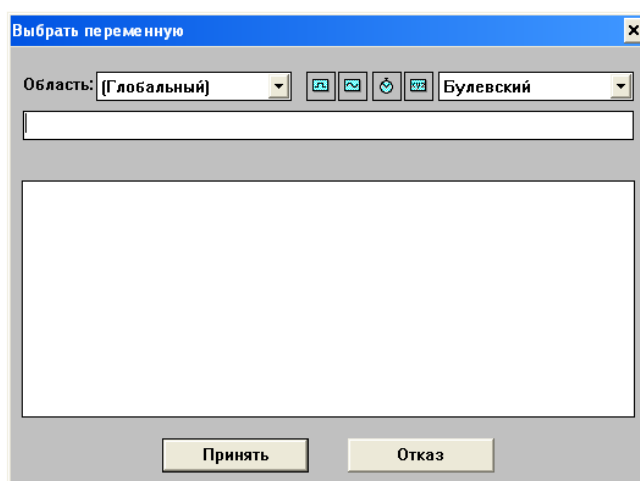


Рисунок 39 – Окно выбора переменной

Здесь описывается переменная. Для ввода описанной переменной в словарь, нажимаем на вкладку «*Файл*» и выбираем пункт «*Словарь*». В окне словаря необходимо выбрать тип вводимой переменной (рисунок 40).

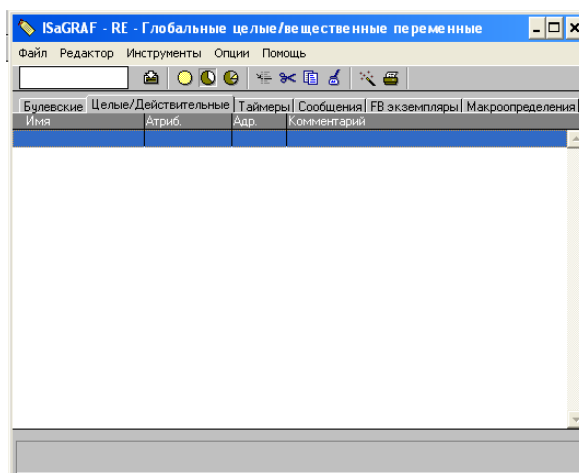


Рисунок 40 – Окно словаря

При двойном щелчке левой кнопки мыши по выделенной синим цветом области (рисунок 41), открывается окно (рисунок 42), где можно задать имя переменной, выбрать её атрибут и присвоить начальное значение.

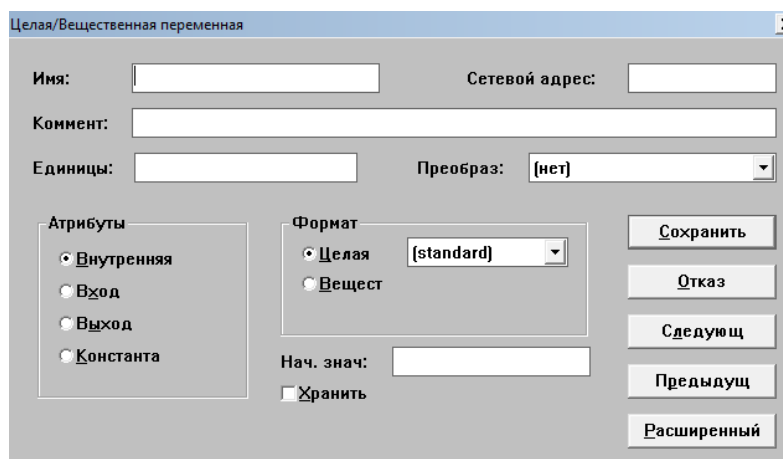


Рисунок 41 – Окно редактора переменных

Таким образом, поочерёдно объявляем все необходимые переменные. Сначала вводим переменные целого/действительного типа. Описание всех переменных целого/действительного типа приведено на рисунке 42.

Булевские	Целые/Действительные	Таймеры	Сообщения	FB экземпляры	Макроопределения
Имя	Атриб.	Адр.	Комментарий		
Xzdn	[внутренняя,ве	0000			
Xin	[внутренняя,ве	0000			
Kp	[внутренняя,ве	0000			
Ti	[внутренняя,ве	0000			
Xmax	[внутренняя,ве	0000			
Xmin	[внутренняя,ве	0000			
Y	[внутренняя,ве	0000			
adress1	[внутренняя,це	0000			
adress2	[внутренняя,це	0000			
Yemax	[внутренняя,ве	0000			
Yemin	[внутренняя,ве	0000			
Vblxodogr	[внутренняя,ве	0000			
Xi	[внутренняя,ве	0000			
Km	[внутренняя,ве	0000			
Td	[внутренняя,ве	0000			
difmax	[внутренняя,ве	0000			
Tf	[внутренняя,ве	0000			
T_min	[внутренняя,ве	0000			
Tlb	[внутренняя,ве	0000			
Tlm	[внутренняя,ве	0000			
oshibka	[внутренняя,ве	0000			
Xbeg	[внутренняя,ве	0000			
Xpor	[внутренняя,ве	0000			
polojenie_IM	[внутренняя,ве	0000			

Рисунок 42 – Переменные целого/действительного типа

Далее приступаем к описанию переменных булевского типа. На рисунке 43 представлено окно с перечнем переменных булевского типа.

Булевские	Целые/Действительные	Таймеры	Сообщения	FB экземпляры	Макроопределения
Имя	Атриб.	Адр.	Комментарий		
Bblxod	[внутренняя]	0000			
sравнение	[внутренняя]	0000			
Dogrmax	[внутренняя]	0000			
Dogrmin	[внутренняя]	0000			
pars	[внутренняя]	0000			
Bxod	[внутренняя]	0000			
difmax_sounding	[внутренняя]	0000			
HHSounding	[внутренняя]	0000			
LLSounding	[внутренняя]	0000			
CO_1	[внутренняя]	0000			
Db	[внутренняя]	0000			
Dm	[внутренняя]	0000			
CO	[внутренняя]	0000			
Cbeg	[внутренняя]	0000			
Czb	[внутренняя]	0000			
Czm	[внутренняя]	0000			
Dmax	[внутренняя]	0000			
Dmin	[внутренняя]	0000			
D	[внутренняя]	0000			
dostov_temp	[внутренняя]	0000			

Рисунок 43 – Переменные булевского типа

В программе также присутствует переменная типа таймер. Её описание представлено на рисунке 44.

Файл Редактор Инструменты Опции Помощь			
Булевские	Целые/Действительные	Таймеры	Сообщения
FB экземпляры	Макроопределения		
Имя	Атриб.	Адр.	Комментарий
Blink period	[внутренняя]	0000	

Рисунок 44 – Описание переменной типа таймер

Для более подробного описания всех переменных занесём информацию о них в отдельные таблицы. В таблице 19 приведено описание параметров переменных типа целые/действительные.

Таблица 19 – Параметры переменных типа целые/действительные

Имя	Атрибут	Формат	Начальное значение
Xzdn	Внутренняя	Вещественная	10
Xin	Внутренняя	Вещественная	0
Kp	Внутренняя	Вещественная	1
Ti	Внутренняя	Вещественная	1
Xmax	Внутренняя	Вещественная	20
Xmin	Внутренняя	Вещественная	-20
Y	Внутренняя	Вещественная	0
adress1	Внутренняя	Целая	40
adress2	Внутренняя	Целая	30
Yemax	Внутренняя	Вещественная	100
Yemin	Внутренняя	Вещественная	-0.1
Vblxodogr	Внутренняя	Вещественная	0
Xi	Внутренняя	Вещественная	0
Km	Внутренняя	Вещественная	0
Td	Внутренняя	Вещественная	1
difmax	Внутренняя	Вещественная	0
Tf	Внутренняя	Вещественная	0
T_min	Внутренняя	Вещественная	1
Tlb	Внутренняя	Вещественная	0.5
Tlm	Внутренняя	Вещественная	0.5
oshibka	Внутренняя	Вещественная	0
Xbeg	Внутренняя	Вещественная	0
Xpor	Внутренняя	Вещественная	0
polojenie_IM	Внутренняя	Вещественная	0

Далее приступаем к описанию переменных булевского типа. В таблице 20 приведено описание этих переменных.

Таблица 20 – Параметры булевских переменных

Имя	Атрибут	Начальное значение
Bblxod	Внутренняя	FALSE
sravnenie	Внутренняя	FALSE
Dogrmax	Внутренняя	FALSE
CO	Внутренняя	FALSE
Dogrmin	Внутренняя	FALSE
Pars	Внутренняя	TRUE
Bxod	Внутренняя	TRUE
difmax_sounding	Внутренняя	FALSE
HHsounding	Внутренняя	FALSE
LLsounding	Внутренняя	FALSE
CO_1	Внутренняя	FALSE
Db	Внутренняя	FALSE
Dm	Внутренняя	FALSE
Cbeg	Внутренняя	FALSE
Czb	Внутренняя	FALSE
Czm	Внутренняя	FALSE
Dmax	Внутренняя	FALSE
Dmin	Внутренняя	FALSE
D	Внутренняя	FALSE
dostov_temp	Внутренняя	FALSE

5.1.4 Описание порядка обработки информации и формирования управляющих воздействий

Как видно из схемы реализации импульсного ПИД-регулятора ввод и вывод аналоговых сигналов осуществляется посредством функционального блока *craio*. На этот функциональный блок поступают сигналы с датчика температуры и указателя положения. Значение температуры, в виде аналогового сигнала поступающего на функциональный блок *craio*, содержится в переменной *Xi*. После того, как это значение температуры поступило в блок *craio*, его необходимо отфильтровать от высокочастотных помех, для этого используется блок *fil*, куда далее поступает это значение. В функциональном блоке *fil* фильтрация происходит по специальному

алгоритму, описанному в разделе «Создание программы». В процессе фильтрации используется постоянная времени фильтра, обозначенная Tf . На выходе блока *fil* формируется значение Xin , служащее для определения ошибки (разность заданного Xin и текущего $Xzdn$ значений температур) и дальнейшей обработки для формирования управляющих воздействий. Определение ошибки выполняется в функциональном блоке *вычитание (-)*. На входы этого блока поступают значения переменных Xin и $Xzdn$, которые представляют собой значение текущей и заданной температур соответственно. На выходе блока *вычитание* формируется ошибка, которая является разностью значений переменных Xin и $Xzdn$. Получившееся значение записывается в переменную *oshibka*. Также переменная Xin используется в функциональном блоке *ogr*, который предназначен для ограничения верхней и (или) нижней границы диапазона изменения сигнала. На выходе функционального блока *ogr* помимо выходной величины, которая записывается в переменную вещественного типа *VbIxodogr*, формируются также две переменные булевского типа, которые сигнализируют о достижении входной величины верхней или нижней границы диапазона сигнала. Если значение входной величины достигает верхней границы диапазона, то переменная *Dogrmax* принимает значение «Истина», в то время как переменная *Dogrmin* принимает значение «Ложь». Если значение входной величины достигает нижней границы диапазона, переменная *Dogrmin* принимает значение «Истина», в то время как переменная *Dogrmax* принимает значение «Ложь». Значения переменных *Dogrmax* и *Dogrmin* поступает на входы функционального блока *логическое «И»*, если значения обеих переменных принимает значение «Истина», то на выходе функционального блока *логическое «И»* формируется значение «Истина», которое записывается в переменную *sravnenie*, значение которой, в свою очередь, поступает на блок с ключевым словом *return*. Ключевое слово *return* является завершением программы: если выход блока, связанного с

оператором, имеет значение «Истина», остальная часть диаграммы не выполняется.

Ошибка, сформированная ранее в блоке *вычитание* (-), поступает в блок *умножение* (x), где перемножается с коэффициентом пропорциональности *kp*. Произведение этих двух величин является пропорциональной составляющей ПИД-регулятора. ПИД-регулятор в данной диаграмме осуществляется следующими элементами:

- пропорциональная составляющая, сформированная через блок *умножение* (*), на выходе которого значение произведения переменных *oshibka* и *kp*;
- дифференциальная составляющая, реализованная посредством функционального блока *dif*. В данный блок также поступает значение ранее сформированной ошибки в совокупности с другими переменными, которые являются неотъемлемой частью данного блока;
- интегральная составляющая, реализованная через функциональный блок *integr*. Ошибка, определенная ранее также принимает участие в алгоритме формирования интегральной составляющей в совокупности с другими переменными.

Все три составляющие ПИД-регулятора суммируются в функциональном блоке *сложение* (+). Результат сложения записывается в переменную *Y*, значение которой поступает на вход функционального блока *Improut*. В данном функциональном блоке формируется управляющее воздействие. Это управляющее воздействие представляет собой дискретные сигналы, которые записываются в переменные булевского типа *Db*, *Dm*. Они поступают на модуль ввода/вывода. В программе этот модуль обозначен как *crdout16*. В зависимости от величины значения переменной *Y*, которое поступает на вход блока *Improut* истинное значение принимает либо переменная *Db*, либо переменная *Dm*, результате чего сигналы, подаваемые на модуль *crdout16* дают команду на вращение двигателя в нужном направлении.

Стоит также отметить, что при достижении переменной X_{in} некоторого заданного значения, которое после дифференцируется, формируется сигнал о достижении максимальной температуры. Значение сигнала записывается в переменную $difmax$. Этот алгоритм в программе осуществлен при помощи функционального блока *abs* (определение значения по модулю) и функционального блока *больше или равно (\geq)*. Также значение переменной X_{in} поступает на еще один блок *ogr*, где происходит определение максимального либо минимального значения, после чего сформированный сигнал поступает на функциональный блок *логическое «ИЛИ»*. Здесь формируется сигнал о достоверности температуры.

5.1.5 Подключение к контроллеру КРОСС 500

Далее, для подключения к контроллеру КРОСС 500 необходимо выполнить некоторые настройки. Для начала произведем настройки опций компилятора. В главном окне программы открываем вкладку «Создать» и в выпадающем списке выбрать пункт «Опции компилятора» (рисунок 45).

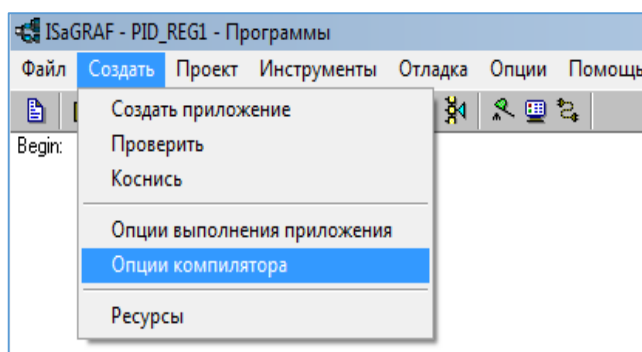


Рисунок 45 – Вход в опции компилятора

Затем, в открывшемся окне выбираем пункт «ISA68M: TIC code for Motorola» (рисунок 46).

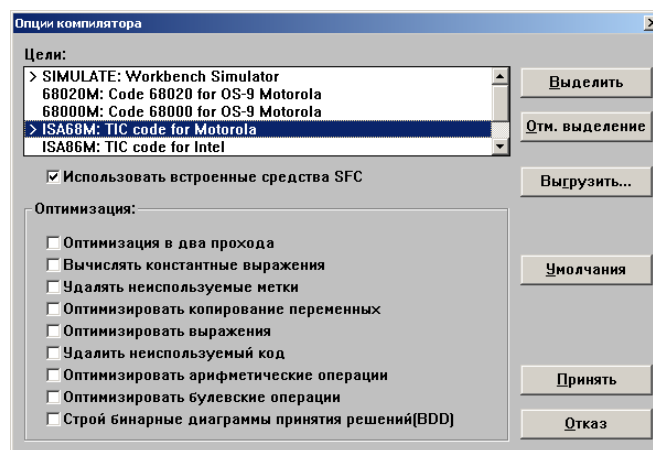


Рисунок 46 – Опции компилятора

После этого приступаем к настройкам параметров связи. Для этого открываем вкладку «Отладка» и выбираем пункт «Установка связей» (рисунок 47).

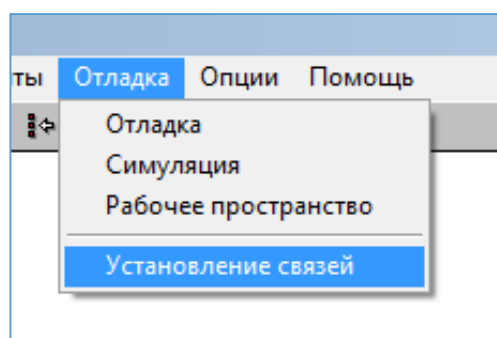


Рисунок 47 – Вход в параметры связей

На рисунке 48 представлено окно со всеми необходимыми настройками параметров связи персонального компьютера с контроллером.

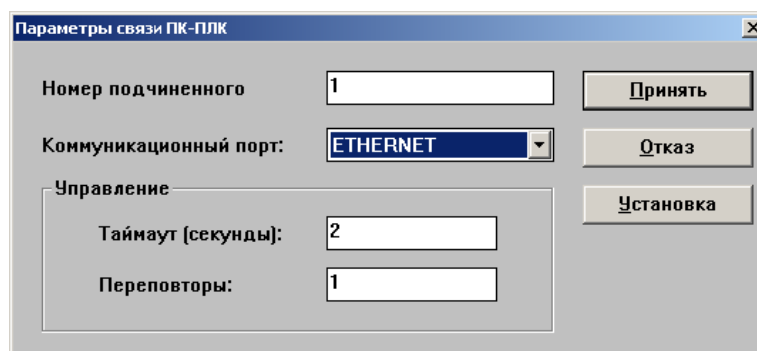


Рисунок 48 – Настройка параметров связи

Далее настраиваем параметры связи Ethernet. Указываем нужный IP-адрес и номер порта для подключения к контроллеру (рисунок 49).

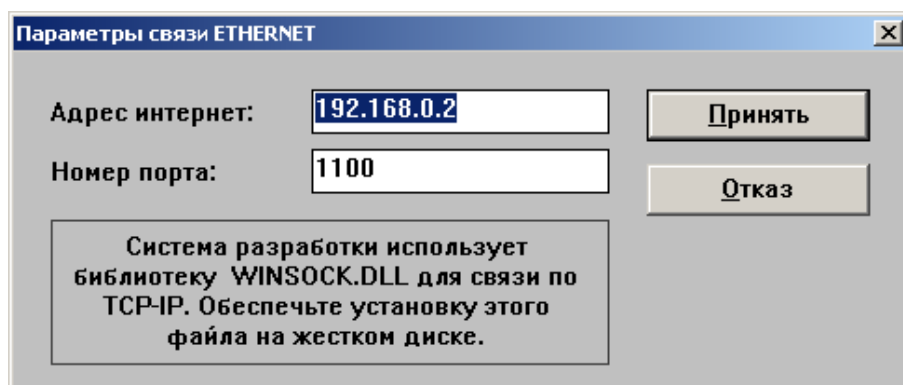



Рисунок 49 – Параметры связи Ethernet

Далее необходимо произвести отладку программы. На панели инструментов в главном окне программы нажимаем на соответствующую пиктограмму . Данная пиктограмма запускает отладчик. Затем открывается окно отладчика (рисунок 50).

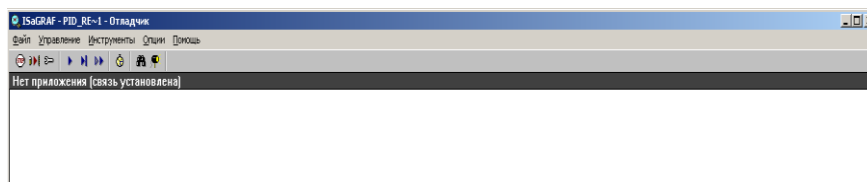


Рисунок 50 – Окно отладчика

При удачном подключении в данном окне выводится сообщение о том, что установлена связь. Далее загружаем программу в контроллер, на рисунке 51 представлено окно, в котором осуществляется загрузка.

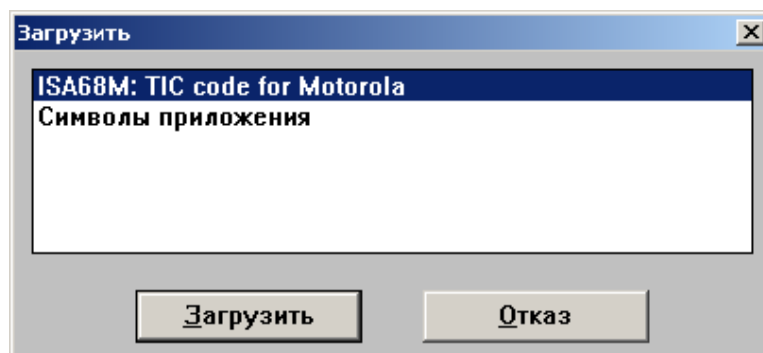


Рисунок 51 – Загрузка

После того, как были проделаны все манипуляции и настройки программно-методического обеспечения, необходимо понаблюдать за корректным выполнением алгоритма написанной программы.

Для демонстрации работоспособности написанной программы перейдя в режим отладки можно наблюдать за тем, как функционирует программа согласно заданному алгоритму.

На рисунке 52 представлено выполнение программы в режиме симуляции.

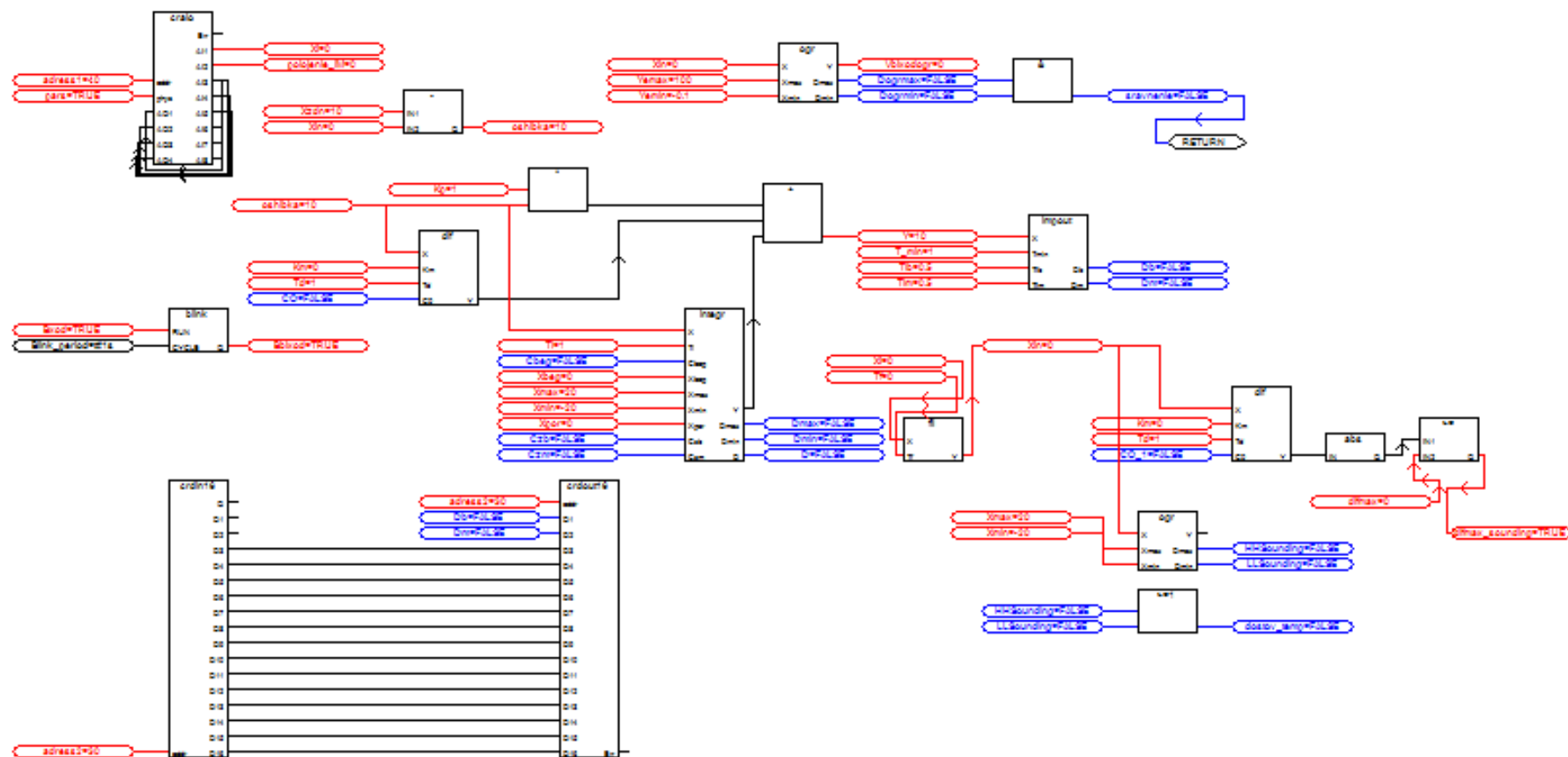


Рисунок 52 - Симуляция программы

5.2 Создание программы визуализации процесса автоматического регулирования температуры в среде MASTERSCADA

Для создания программы визуализации необходимо запустить среду разработки MasterSCADA. Главное окно программы представлено на рисунке 53.

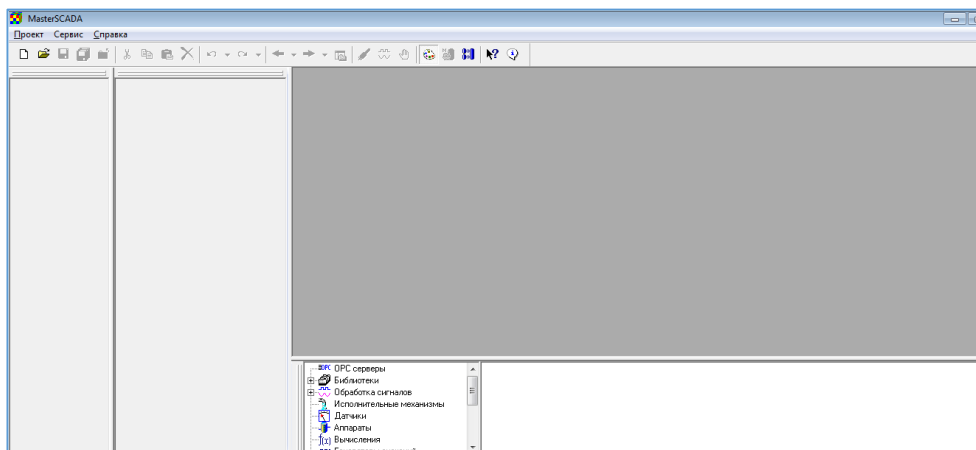



Рисунок 53 – Главное окно MasterSCADA

Далее, для создания проекта нажимаем на панели инструментов пиктограмму . После этого откроется окно, в котором необходимо дать имя нашему проекту (рисунок 54). В имени проекта должны быть только латинские буквы. Называем проект to.

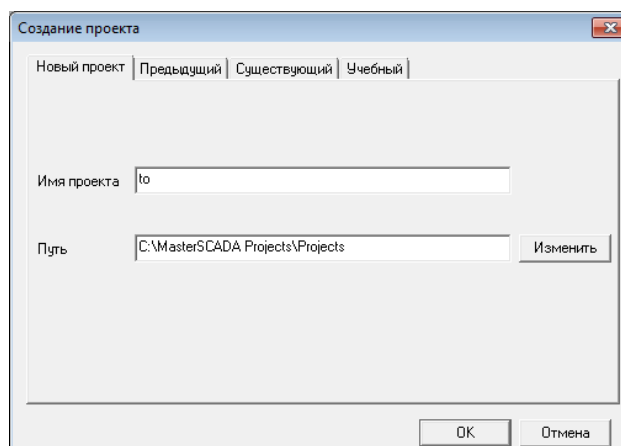


Рисунок 54 – Окно создания проекта

Затем открывается окно, представленное на рисунке 55.

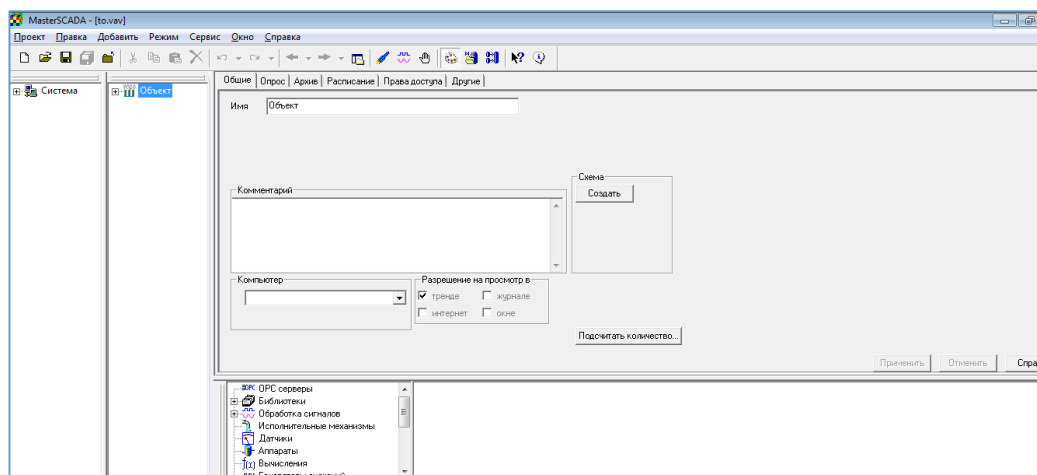


Рисунок 55 – Окно проекта

Далее выполним соединение между средой MasterSCADA и IsaGRAF. Для этого выделяем объект «Система» в дереве системы и щелкаем по ней правой кнопкой мыши. Затем выбираем ВСТАВИТЬ/КОМПЬЮТЕР (рисунок 56).

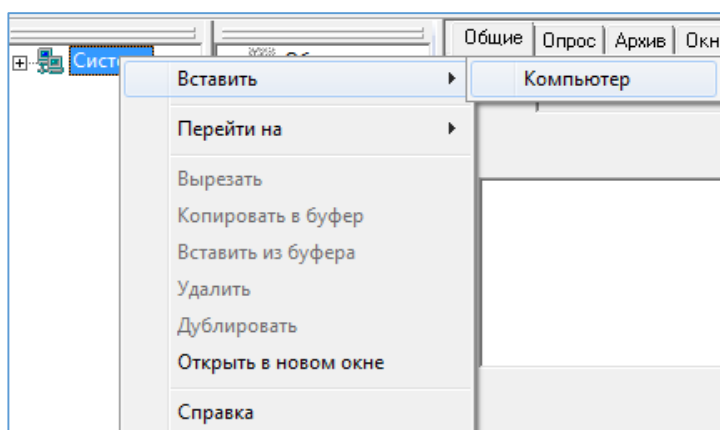


Рисунок 56 – Добавление компьютера

В странице свойств элемента в поле «Имя» вводим «titan2», не забыв нажать на кнопку ПРИМЕНИТЬ – для сохранения.

Теперь нажав ПК на «titan2», добавляем OPC сервер (рисунок 57).

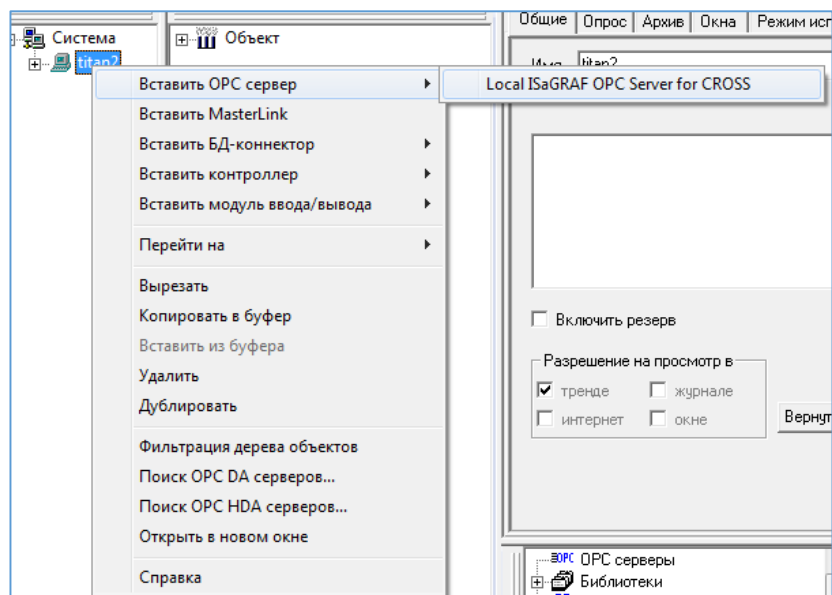





Рисунок 57 – Добавление OPC-сервера

Доступ к данным OPC серверов осуществляется через OPC переменные в MasterSCADA.

Существует три основных вида OPC переменных:

- для чтения (отображается в дереве значком выхода 
- для записи (отображается в дереве значком входа 
- для чтения и записи (отображается в дереве значком ).

Добавляем OPC-переменные подобно тому, как показано на рисунке 58.

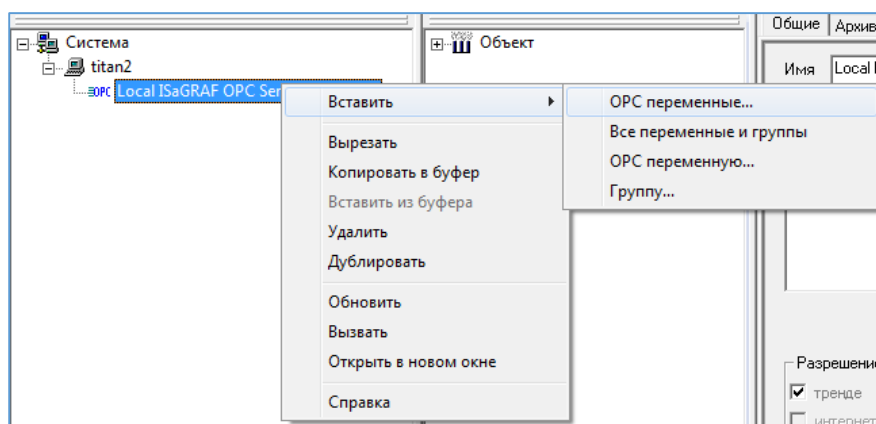


Рисунок 58 – Добавление OPC-переменных

В появившемся окне «Свойства: выбор переменных» ставим галочку, как показано на рисунке 59. В результате все переменные ISaGRAF, используемые при написании технологической программы пользователя будут доступны в MasterScada. В дереве системы эти переменные будут отображаться, как показано на рисунке 60.

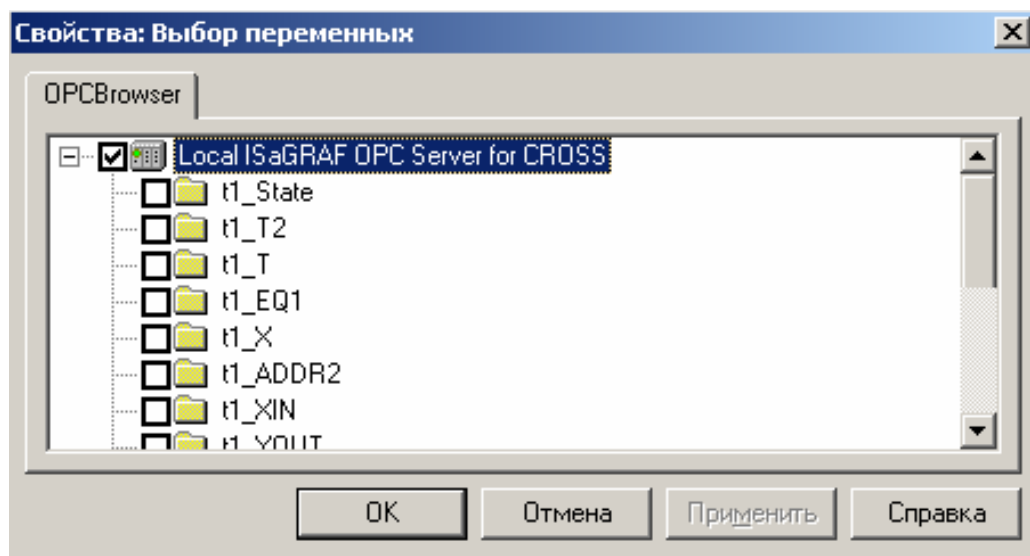


Рисунок 59 – Окно выбор переменных

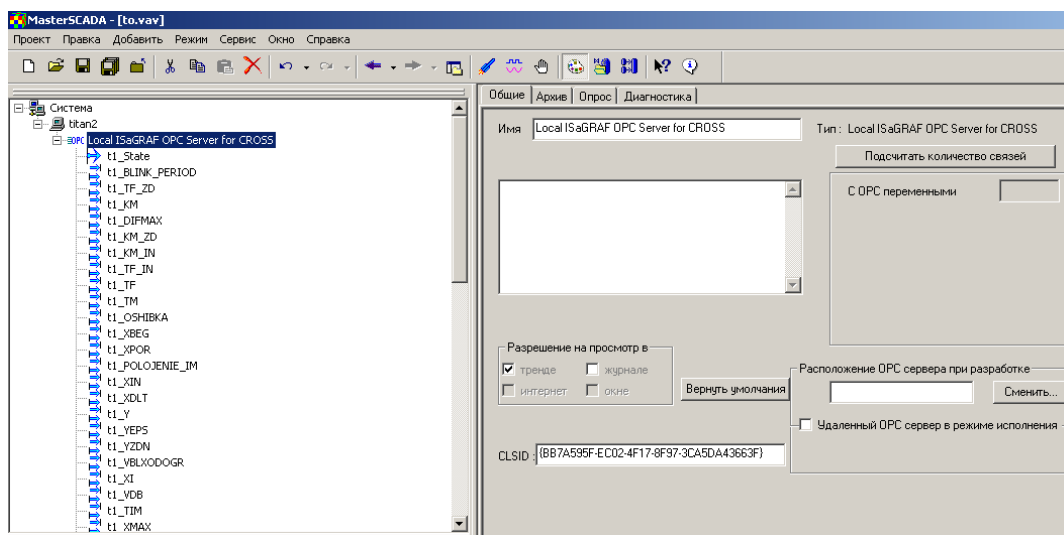


Рисунок 60– Добавление OPC-переменных

На рисунке 60 видно, что переменные, объявленные при создании программы для контроллера отображаются в среде MasterSCADA. Здесь они


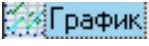
будут применяться для сопряжения с переменными динамизации при составлении мнемосхемы.

Далее необходимо составить мнемосхему – программу визуализации разрабатываемого объекта.

Мнемосхема создается путем перетаскивания объектов, визуальных функциональных блоков, а также переменных из дерева проекта. Все эти компоненты должны содержать всю необходимую функциональность (изображение, динамизации, окна управления).

В данной работе мнемосхема будет состоять из следующих компонентов:

- график;
- индикаторы состояния;
- команды;
- значения;
- тренд.

Приступим к описанию создания графика. Создание графической области сводится к непосредственной работе с деревом объекта. Для того, чтобы вставить график необходимо выделить «Объект», затем нажать правую кнопку мыши и выбрать ВСТАВИТЬ/ОБЪЕКТ. После того, как в дереве объекта появился новый объект, переходим на страницу свойств объекта. Здесь мы можем переименовать наш объект. Переименовываем объект в «Тепловая камера». Далее переходим в палитру инструментов и выбираем пиктограмму «Датчики» , затем щелкнув левой кнопкой мыши на объект «График»  перетаскиваем его в «Тепловая камера». Так как создаваемый график должен будет отображать два параметра (значение температуры на входе; заданное значение температуры), перейдя в страницу свойств объекта «График», во вкладке настройки, в поле «Число параметров» указываем число 2. В итоге имеем дерево объектов, представленное на рисунке 61.

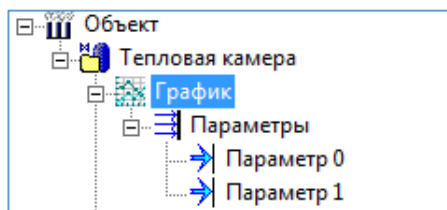



Рисунок 61 – Создание графика

Далее добавим в объект «Тепловая камера» индикаторы состояния. В данной мнемосхеме должно осуществляться индицирование информации о температуре, её диапазоне (больше заданной, меньше заданной), информация о скорости роста температуры и состояние нагревательного элемента (включено/выключено).

Для добавления в дерево объекта «Тепловая камера» индикаторов состояния также переходим в палитру инструментов и выбираем пиктограмму «Датчики», затем левой кнопкой мыши перетаскиваем в дерево индикатор состояния  Индикатор состояния. На рисунке 62 представлены индикаторы состояния в дереве объекта «Тепловая камера».

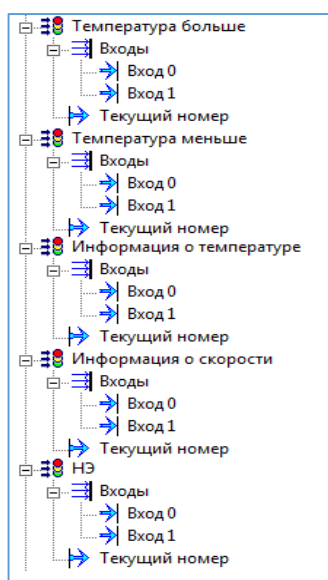


Рисунок 62 – Индикаторы состояния

Затем следует создание команд, для этого в дереве выделяем объект «Тепловая камера», щелкаем правой кнопкой мыши и выбираем

ВСТАВИТЬ/КОМАНДА. Команды позволяют изменять значения переменных в режиме работы программы. Нам необходимо вставить четыре команды, три из которых – это составляющие ПИД-регулятора (пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие), и четвертая команда – это задание температуры. Название каждой команды можно изменять в странице свойств объекта. На рисунке 63 представлены команды, используемые в проекте.

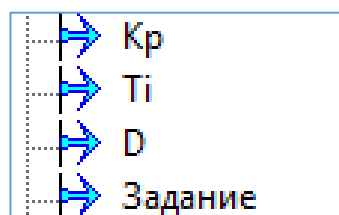


Рисунок 63 – Команды

Далее приступаем к добавлению значения. В дереве выделяем объект «Тепловая камера», щелкаем правой кнопкой мыши и выбираем ВСТАВИТЬ/ЗНАЧЕНИЕ. Значения используются для визуального представления численных данных. На мнемосхеме нам необходимо отображать значения температуры и положения исполнительного механизма. Вставляем два значения и даем им соответствующие названия как это было описано выше. На рисунке 64 представлены созданные значения.

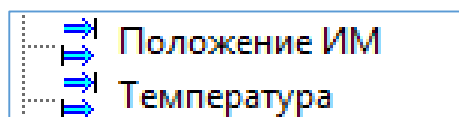


Рисунок 64 – Значения

Также в программе визуализации необходимо наличие тренда для визуализации характеристик протекающих процессов.

Тренд – это графическое представление изменения данных технологического процесса с течением времени. В MasterSCADA возможен

совместный просмотр архивных и актуальных (тренд реального времени) данных на одном графике. Для создания тренда необходимо выделить объект «Тепловая камера», правой кнопкой мыши выбрать ВСТАВИТЬ/ОБЪЕКТ, затем в странице свойств созданного объекта перейти во вкладку «Тренд», нажать кнопку «Добавить». После этого присваиваем этому объекту соответствующее название – «Тренд» (рисунок 65).

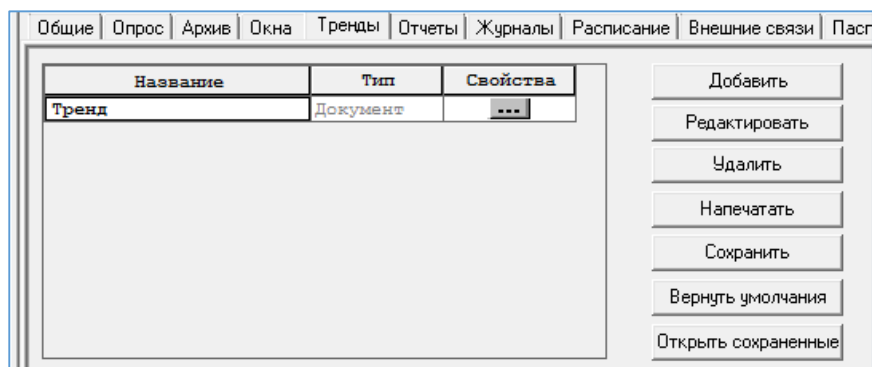


Рисунок 65 – Создание тренда

Сам тренд представлен на рисунке 66.

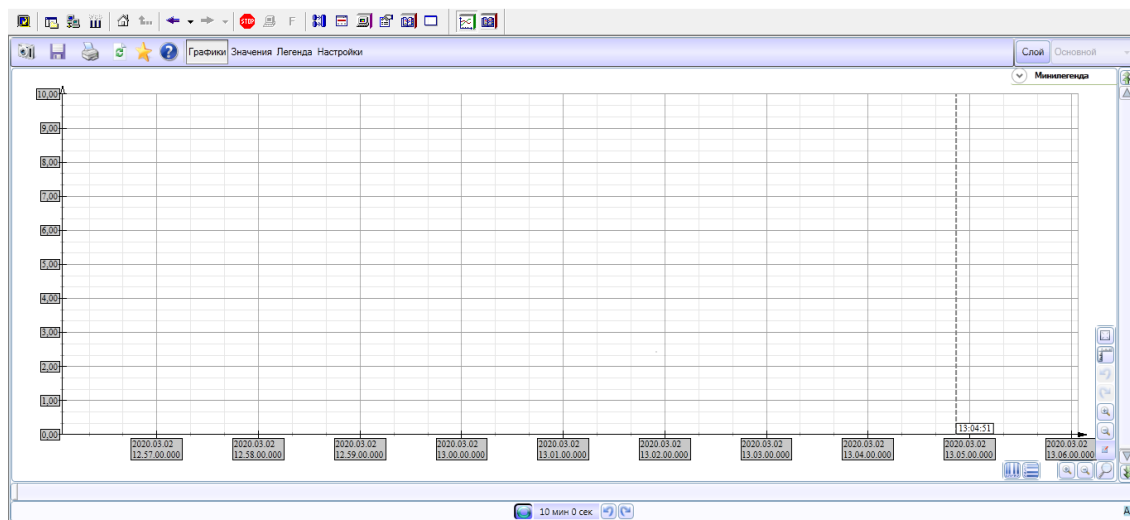


Рисунок 66 – Тренд

После всех проделанных манипуляций дерево объекта «Тепловая камера» примет вид, представленный на рисунке 67.

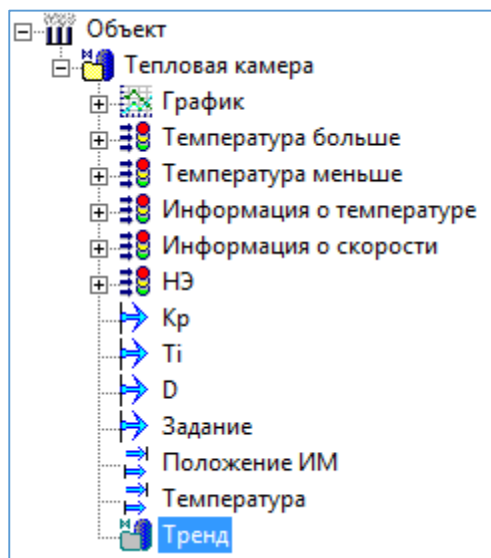


Рисунок 67 – Дерево объекта «Тепловая камера»

Приступим к визуальному оформлению мнемосхемы. Для этого выделим объект «Тепловая камера», правой кнопкой мыши выберем ПЕРЕЙТИ НА/МНЕМОСХЕМА. После перехода на мнемосхему перетаскиваем все компоненты, из которых было сформировано дерево объекта «Тепловая камера». После того, как были расставлены все компоненты необходимо оформить их расположение таким образом, чтобы человеку, управляющему объектом, было легко понять назначение каждой функциональной единицы.

Визуальное оформление мнемосхемы состоит в основном из графических примитивов. Для их создания, будь то статический текст или графические элементы (различные прямоугольники, эллипсы, линии), необходимо открыть вкладку «Палитра», расположенную в правом нижнем углу редактора мнемосхем, затем выбрать ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИМИТИВЫ/ТЕКСТ или ПРЯМОУГОЛЬНИК и щелкнуть по свободному месту на мнемосхеме. В СВОЙСТВАХ объекта можно изменить надпись, шрифт текста, цвет, заливку, вид и многое другое.

На рисунке 68 представлен окончательный вид мнемосхемы объекта «Тепловая камера».

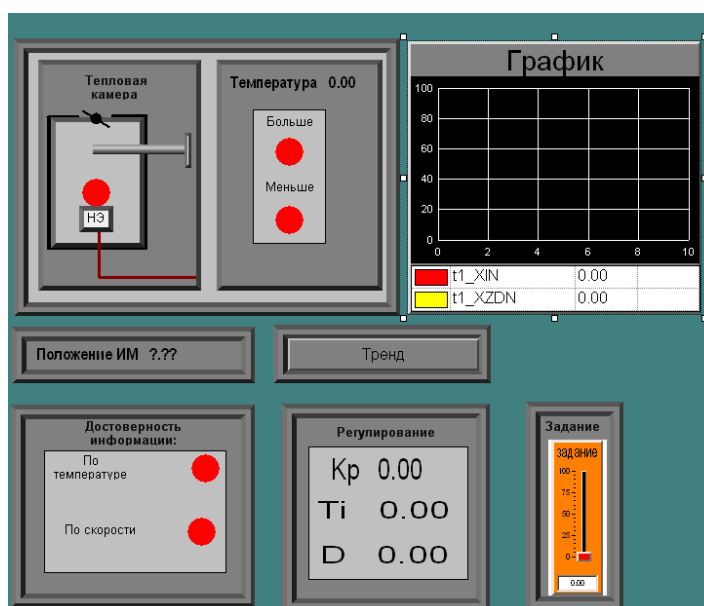


Рисунок 68 – Мнемосхема объекта «Тепловая камера»

После оформления мнемосхемы, приступим к сопряжению переменных контроллера с переменными динамизации.

В таблице 21 представлены переменные контроллера и переменные динамизации (переменные, применяемые в визуализации), которые необходимо сопоставить друг с другом в соответствии с функциями, которые они выполняют.

Таблица 21 – Сопряжение переменных контроллера и переменных динамизации

Переменные контроллера	Переменные динамизации
Dogrmax	Температура больше
Dogrmin	Температура меньше
Xzdn	Задание
Xin	График_Параметр1
Xzdn	График_Параметр2
Kp	Kp

Продолжение таблицы 21 – Сопряжение переменных контроллера и переменных динамизации

Переменные контроллера	Переменные динамизации
Ti	Ti
Td	D
Difmax_sounding	По скорости
Dostov_temp	По температуре
Xin	Температура
Polojenie_IM	Положение ИМ

Сопряжение переменных производится посредством OPC-сервера. Для того, чтобы значение переменной контроллера визуализировалось на мнемосхеме, необходимо удерживая левую кнопку мыши перетащить нужную переменную из списка переменных контроллера в дерево объекта «Тепловая камера» и присвоить соответствующему объекту из дерева. На рисунке 66 представлен процесс сопряжения переменных контроллера и переменных динамизации.

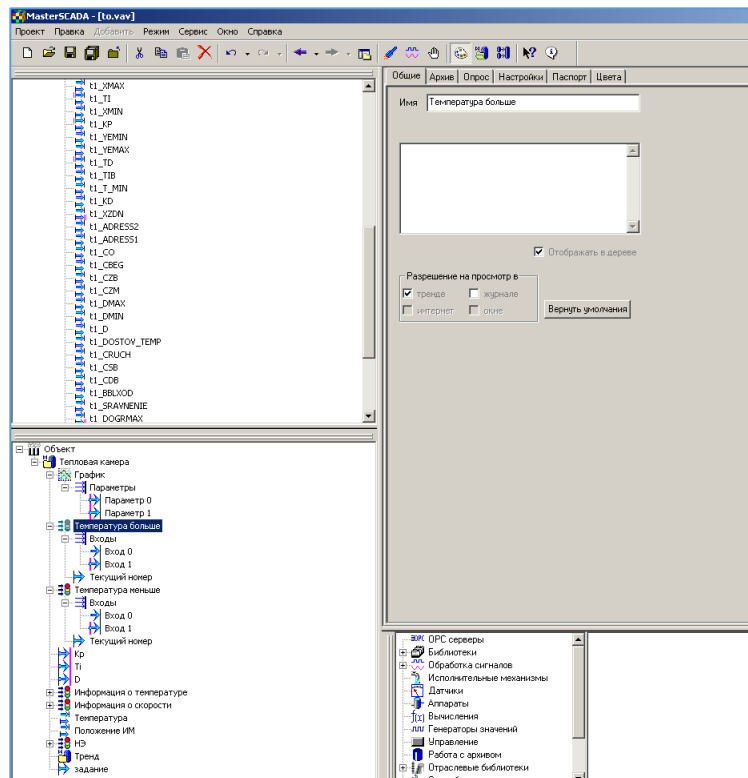


Рисунок 69 – Сопряжение переменных контроллера с переменными динамизации

Из рисунка 69 видно, что сопряженные переменные выделены розовым цветом.

На тренд нам необходимо вывести значение текущей температуры и значение заданной температуры. Произвести это можно также щелкнув левой кнопкой мыши на переменную контроллера, а затем удерживая её перетащить на тренд, предварительно открыв его в дереве объекта «Тепловая камера» (рисунок 70).

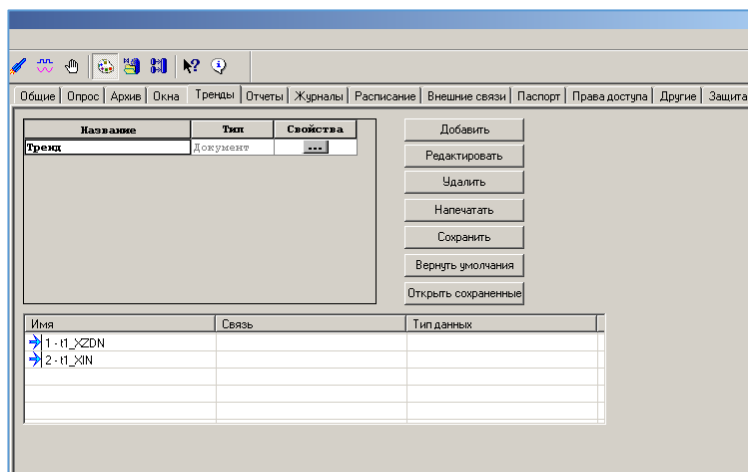


Рисунок 70 – Переменные на тренде

5.3 Методические указания по выполнению лабораторной работы «Создание программы визуализации процесса управления тепловым объектом в пакете MasterSCADA»

Целью данной лабораторной работы является приобретение навыков студентами при создании программ визуализации технологического процесса и управления данным процессом при помощи SCADA-системы MasterSCADA.

Полный текст методических указаний по выполнению лабораторной работы приведен в приложении А. Ниже дано краткое описание состава

методических указаний. В данной лабораторной работе используется контроллер КРОСС 500, объект управления и операторская станция в виде ПК.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат:

1. Цель работы.
2. Описание SCADA-системы MasterSCADA.
3. Примеры работы в редакторах представления данных, базы каналов и редакторе шаблонов.
4. Пример создания и загрузки программы визуализации процесса управления процессом.
5. Задание.
6. Содержание отчета и контрольные вопросы.

Структурная схема лабораторного комплекса представлена на рисунке 71.

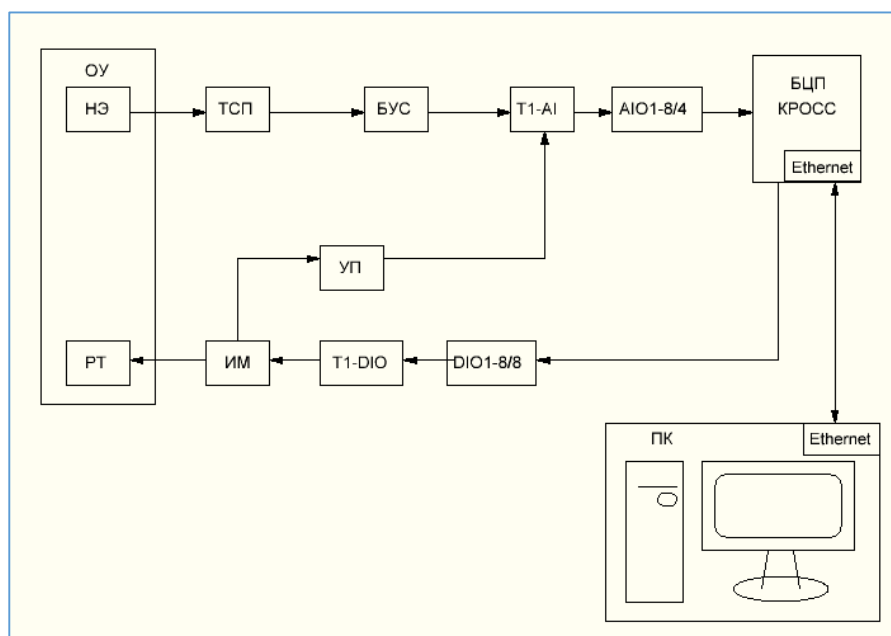


Рисунок 71 – Структурная схема лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры»

При выполнении данной лабораторной работы студенту необходимо через операторскую станцию управлять технологическим процессом. Для этого необходимо в SCADA-системе MasterSCADA создать программу визуализации управления технологическим процессом регулирования температуры. При управлении, кроме отображения информации, предусмотрен переход с ручного режима на автоматический, создание световой сигнализации при превышении и понижении температуры по отношению к заданным порогам. А также изменение параметров регулятора и уставки САР.

После проделанной работы студент оформляет отчет, отвечает на контрольные вопросы и делает выводы.

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Структурную схему лабораторного стенда.
3. Задание на выполнение лабораторной работы.
4. Информацию о настройке OPC.
5. Дерево системы.
6. Дерево объекта.
7. Стартовую мнемосхему.
8. Экранные формы, созданные в процессе выполнения лабораторной работы.
9. Ответы на контрольные вопросы.
10. Выводы по работе.

Заданием на лабораторную работу предусмотрено:

1. Настройка OPC сервер;
2. Запуск программу и проверка работоспособности демонстрационной программы;
3. Разработка программы визуализации и управления тепловым объектом. Программа должна содержать следующие элементы:

- тренд изменения температуры;
- график изменения температуры и порогов сигнализации;
- команды для настройки параметров регулятора;
- команду изменения уставки регулятора;
- мнемонические индикаторы для отображения предупредительной сигнализации по превышению или понижению температуры в тепловой камере.

Контрольные вопросы:

1. Назначение SCADA-систем.
2. Перечислите наиболее распространённые на зарубежном и отечественном рынках SCADA-системы.
3. Перечислите отличительные особенности пакета MasterScada .
4. Для чего используется OPC-сервер?
5. В чем состоит отличие графика от тренда?

6 Настройка регулятора

Для определения параметров настройки регулятора системы автоматического регулирования температуры необходимо составить операторно-структурную схему.

Структурная схема рассматриваемого объекта состоит из следующих элементов:

- ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор);
- исполнительное устройство, представляющее собой двигатель постоянного тока;
- объект управления (тепловая камера);
- датчик температуры.

На рисунке 72 представлена обобщенная структурная схема рассматриваемого технологического процесса.



Рисунок 72 – Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования

Для построения характеристики переходного процесса необходимо найти передаточные функции каждого звена из структурной схемы.

Ниже представлена стандартная передаточная функция ПИД-регулятора (3).

$$W_{\text{пид}}(s) = K + \frac{1}{T_i s} + T_d s \quad , \quad (3)$$

где K - пропорциональная составляющая;

$\frac{1}{T_i s}$ - интегральная составляющая;

$T_d s$ - дифференциальная составляющая.

Для того, чтобы составить передаточную функцию, описывающую работу исполнительного устройства преобразуем его звено (рисунок 73).

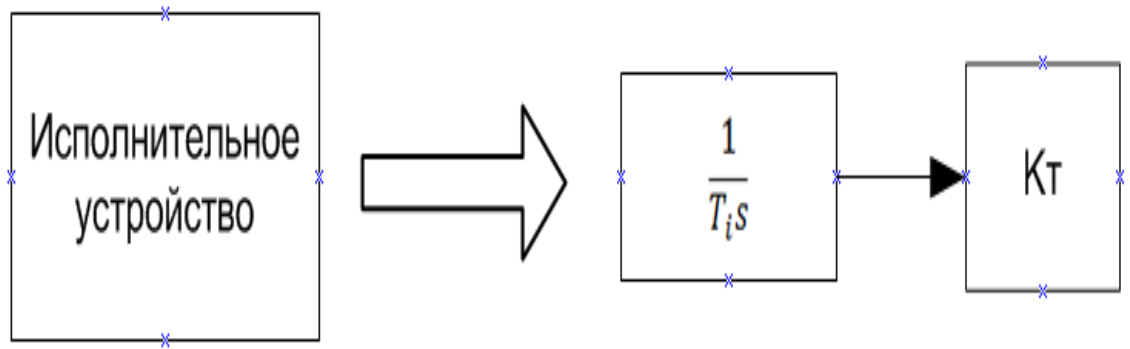


Рисунок 73 – Преобразование звена исполнительного устройства

Составим передаточную функцию исполнительного устройства (4).

$$W_{\text{иу}}(s) = \frac{1}{T_i s} * K_T, \quad (4)$$

где T_i – постоянная времени интегрирования (определяется экспериментально), с;

K_T – коэффициент передачи регулятора тока.

Произвольно выберем значение постоянной времени интегрирования, равной 195 с.

$$W_{\text{иу}}(s) = \frac{1}{T_i s} * K_T = \frac{1}{195 s} * K_T,$$

где T_i – постоянная времени интегрирования (определяется экспериментально), с;

K_T - коэффициент передачи регулятора тока.

Значение K_T легко определить из следующего выражения (5).

$$K_T = \frac{\Delta I}{\Delta \varphi}, \quad (5)$$

где K_T - коэффициент передачи регулятора тока;

ΔI - приращение по току, мА;

$\Delta \varphi$ - приращение угла поворота двигателя.

Экспериментально в ходе снятия кривой разгона было определено приращение по току. Оно равно $220 \text{ мА} - 180 \text{ мА} = 40 \text{ мА}$. Приращение угла поворота двигателя равно 180° .

Отсюда

$$K_T = \frac{\Delta I}{\Delta \varphi} = \frac{40}{180} = 0,222 \frac{\text{mA}}{\varphi^\circ},$$

где K_T - коэффициент передачи регулятора тока;

ΔI - приращение по току, мА;

$\Delta \varphi$ - приращение угла поворота двигателя.

Далее приступаем к описанию передаточной функции объекта управления. Она имеет следующий вид (6):

$$W_{0y}(s) = \frac{K_{0y} * e^{-\tau s}}{T_{0y}s + 1}, \quad (6)$$

где $W_{0y}(s)$ - передаточная функция объекта управления;

K_{0y} - коэффициент пропорциональности объекта;

T_{0y} - время переходного процесса до установившегося значения температуры, с;

τ – промежуток времени в самом начале переходного процесса, в течение которого температура не изменяется, с.

Для получения параметров, требуемых для передаточной функции объекта управления, построим кривую разгона теплового объекта по показаниям, которые были получены в ходе эксперимента.

Суть эксперимента заключалась в следующем: включается объект, температура нагревательного элемента начинает расти и через каждые десять секунд показания датчика температуры заносятся в таблицу 22.

Таблица 22 – Показания датчика температуры через каждые десять секунд

Температура, °C	Время, с	Ток, мА
30	0	220
30	2	220
30	4	220
32	8	220
38	40	220
48	50	220
58	60	220
68	70	220
78	80	220
86	90	220
93	100	220
95	110	220
95	120	220
95	130	220
95	140	220

По этим данным построим график (кривая разгона температуры). На рисунке 74 представлена кривая разгона температуры.

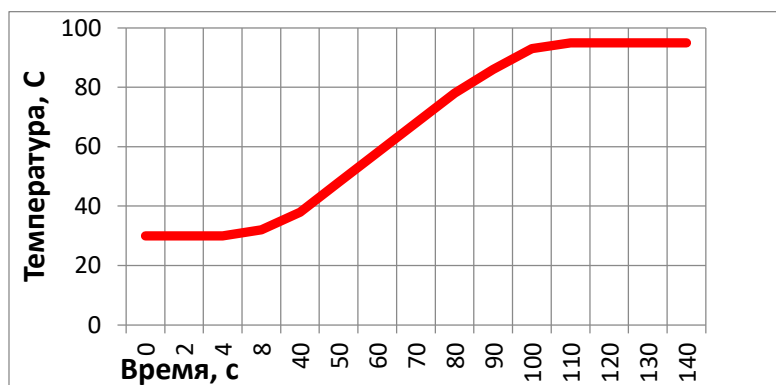


Рисунок 74 – Кривая разгона температуры

На графике (рисунок 75) отмечены T_{0y} и τ .

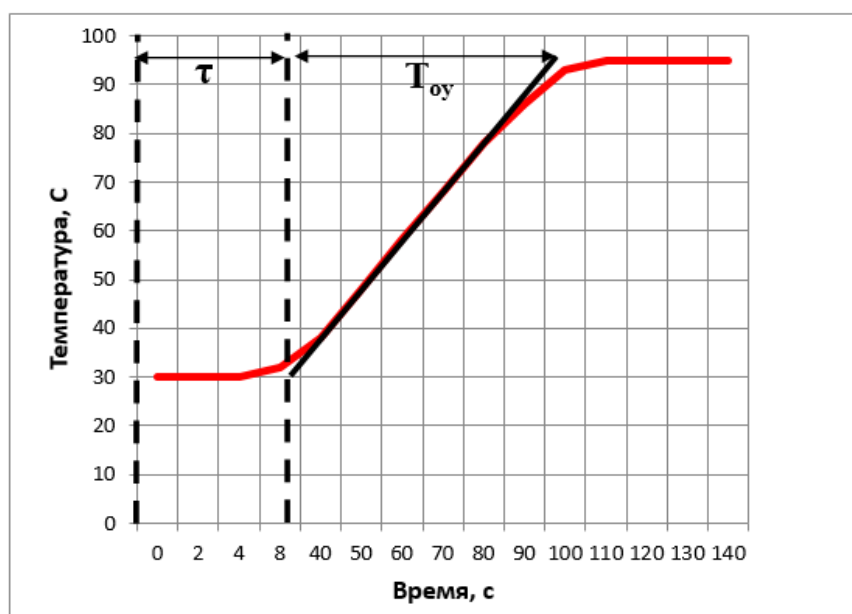


Рисунок 75 – Время T_{0y} и τ на кривой разгона

Для нахождения коэффициента пропорциональности объекта воспользуемся следующим соотношением (7).

$$K_{0y} = \frac{Y(\infty)}{X(\infty)} = \frac{T, ^\circ\text{C}}{I, \text{mA}} = \frac{95}{220} = 0.4318 \frac{^\circ\text{C}}{\text{mA}}, \quad (7)$$

где T – температура, $^\circ\text{C}$;

I – ток, мА.

Через точку перегиба на графике проводим касательную до максимального значения температуры.

Как видно из графика, промежуток времени τ в самом начале переходного процесса, в течение которого температура не изменяется, равна 8 секунд. Также из графика (рисунок 71) следует, что все время переходного процесса составляет $T = 98$ с. Отсюда постоянная времени T_{0y} равна $T_{0y} = T - \tau = 98 - 8 = 90$ с.

Далее приступаем к математическому описанию датчика температуры. На операторно-структурной схеме датчик температуры представляет собой инерционное звено. Это звено преобразует выходной сигнал и по обратной связи направляет его на вход ПИД-регулятора для формирования управляющего воздействия. Для того, чтобы найти коэффициент датчика температуры воспользуемся градуировочной таблицей термопары хромель-копель (таблица 23). Определение коэффициента датчика при помощи градуировочной таблицы термопары хромель-копель проводится на другом стенде, где в его составе в качестве датчика температуры используется термопара.

В рассматриваемом объекте применяется термометр сопротивления, однако, для моделирования системы автоматического регулирования допустимо использовать коэффициент термопары, воспользовавшись таблицей 23. Температура объекта изменяется в пределах 100 °С, поэтому в таблице выбираем значение температуры 100 °С и можно выбрать произвольно значение ЭДС для данного датчика. Выбираем 6.95 мВ.

Коэффициент датчика температуры представляет собой отношение ЭДС к температуре (8):

$$K_d = \frac{E}{T} = \frac{6.95}{100} = 0.0000695 \frac{\text{мВ}}{^{\circ}\text{С}}, \quad (8)$$

где K_d – коэффициент датчика температуры;

E – ЭДС (электродвижущая сила), мВ;

T – температура, °С.

Таблица 23 – Коэффициенты термопар

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЭДС, мВ										
-20	-1,27	-1,35	-1,39	-1,46	-1,52	-1,58	-1,64	-1,70	-1,77	-1,83
-10	-0,64	-0,70	-0,77	-0,83	-0,89	-0,96	-1,02	-1,08	-1,14	-1,21
-0	0	-0,06	-0,13	-0,19	0,26	-0,32	-0,38	0,45	-0,51	-0,58
+0	0	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,39	0,46	0,52	0,59
10	0,65	0,72	0,78	0,85	0,91	0,98	1,05	1,11	1,18	1,24
20	1,31	1,38	1,44	1,51	1,57	1,64	1,70	1,77	1,84	1,91
30	1,98	2,05	2,12	2,18	2,25	2,32	2,38	2,45	2,52	2,59
40	2,66	2,73	2,80	2,87	2,94	3,00	3,07	3,14	3,21	3,28
50	3,35	3,42	3,49	3,56	3,63	3,70	3,77	3,84	3,91	3,98
60	4,05	4,12	4,19	4,26	4,33	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69
70	4,76	4,83	4,90	4,98	5,05	5,12	5,20	5,27	5,34	5,41
80	5,48	5,56	5,63	5,70	5,78	5,85	5,92	5,99	6,07	6,14
90	6,21	6,29	6,36	6,43	6,51	6,58	6,65	6,73	6,80	6,87
100	6,95	7,03	7,10	7,17	7,25	7,32	7,40	7,47	7,54	7,62
110	7,69	7,77	7,84	7,91	7,99	8,06	8,13	8,21	8,28	8,35
120	8,43	8,50	8,58	8,65	8,73	8,80	8,88	8,95	9,03	9,10
130	9,18	9,25	9,33	9,40	9,48	9,55	9,63	9,70	9,78	9,85
140	9,93	10,00	10,08	10,16	10,23	10,31	10,38	10,46	10,54	10,61
150	10,69	10,77	10,85	10,92	11,00	11,08	11,15	11,23	11,31	11,38
160	11,46	11,54	11,62	11,69	11,77	11,85	11,93	12,00	12,08	12,16
170	12,24	12,32	12,40	12,48	12,55	12,63	12,71	12,79	12,87	12,93
180	13,03	13,11	13,19	13,27	13,36	13,44	13,52	13,60	13,68	13,76
190	13,84	13,92	14,00	14,08	14,16	14,23	14,33	14,42	14,50	14,58
200	14,66	14,74	14,82	14,90	14,98	15,06	15,14	15,22	15,30	15,38

Так как звено датчика температуры является инерционным, то его передаточная функция имеет постоянную времени Т. И его передаточная функция может принимать вид (9):

$$W_{\text{тер}}(s) = \frac{K_d}{Ts + 1}, \quad (9)$$

где $W_{\text{тер}}(s)$ – передаточная функция датчика температуры;

K_d – коэффициент датчика температуры;

Т – температура, °С.

Для обычных экранированных термопар постоянная времени в стартовых условиях находится в пределах (1,5 ... 4) с. Произвольно выберем постоянную времени, равную 4 с.

Отсюда передаточная функция датчика температуры примет вид:

$$W_{\text{тер}}(s) = \frac{0.0695}{4s + 1}.$$

После того, как мы нашли передаточные функции, операторно-структурная схема примет вид (рисунок 76):

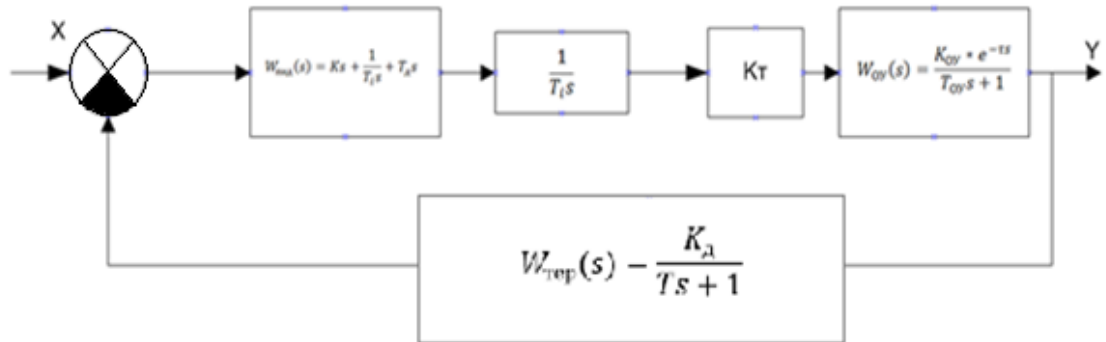


Рисунок 76 – Операторно-структурная схема процесса

Промоделируем полученную систему в пакете Matlab Simulink. На рисунке 77 представлена модель описываемой системы в Simulink.

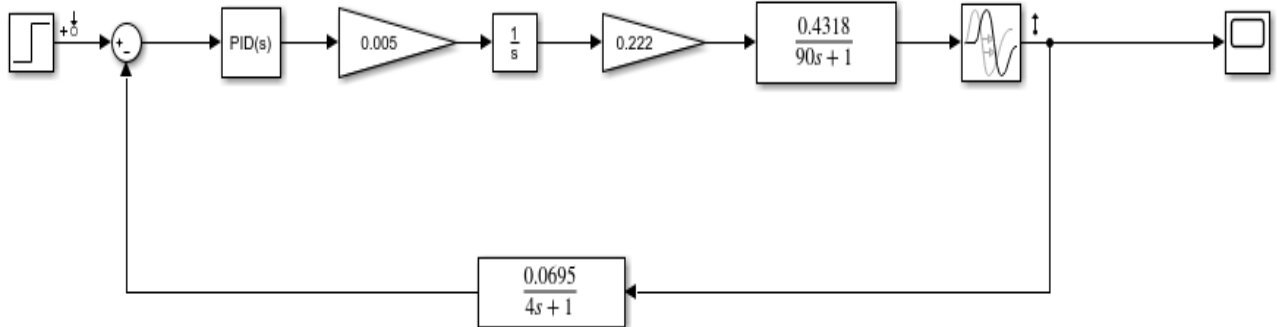


Рисунок 77 – Модель системы в пакете Matlab Simulink

Далее смотрим показания осциллографа, на предмет устойчивости системы. На рисунке 78 представлен график, с переходной характеристикой процесса. На нем хорошо видно, что процесс не устойчив из-за большого перерегулирования [5].

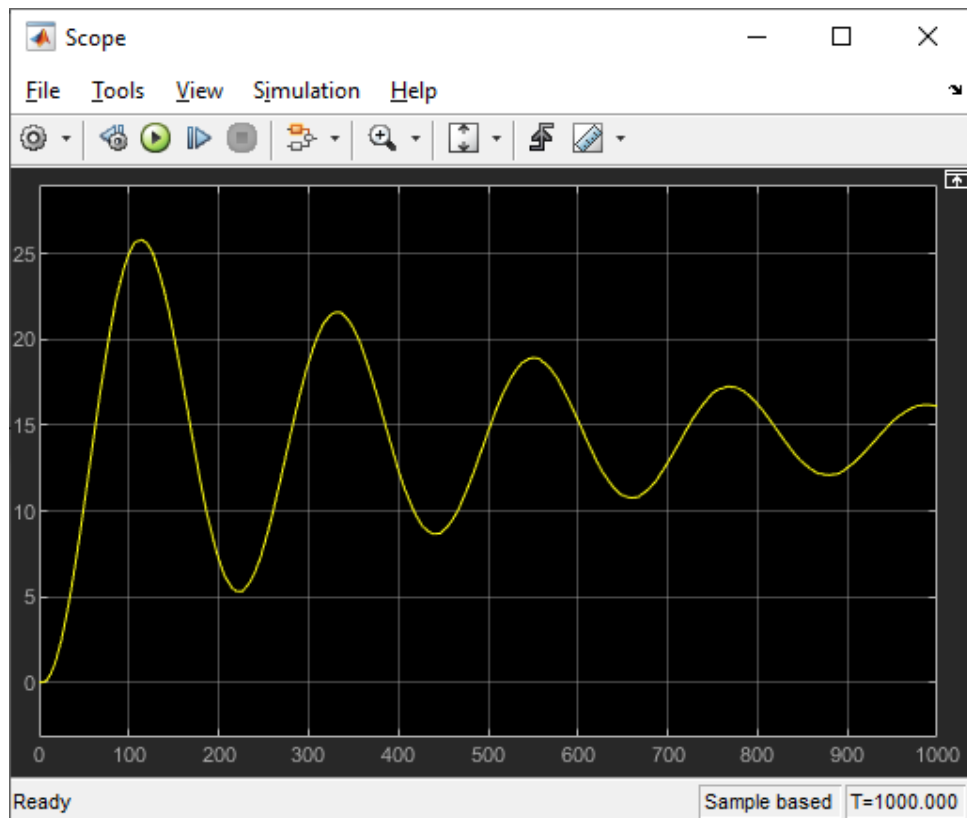


Рисунок 78 – Переходная характеристика

Для того, чтобы добиться устойчивости системы, необходимо настроить ПИД-регулятор. Воспользуемся настройкой ПИД-регулятора методом Циглера–Никольса. Суть данного метода заключается в том, что регулятор переводится в режим, в котором интегральная и дифференцирующая составляющие отключаются. Таким образом получаем пропорциональный регулятор. Затем коэффициент передачи П-регулятора увеличиваем до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Коэффициент передачи фиксируем и обозначаем K_p^* . Увеличив пропорциональную составляющую до 3800, получаем график (рисунок 79).

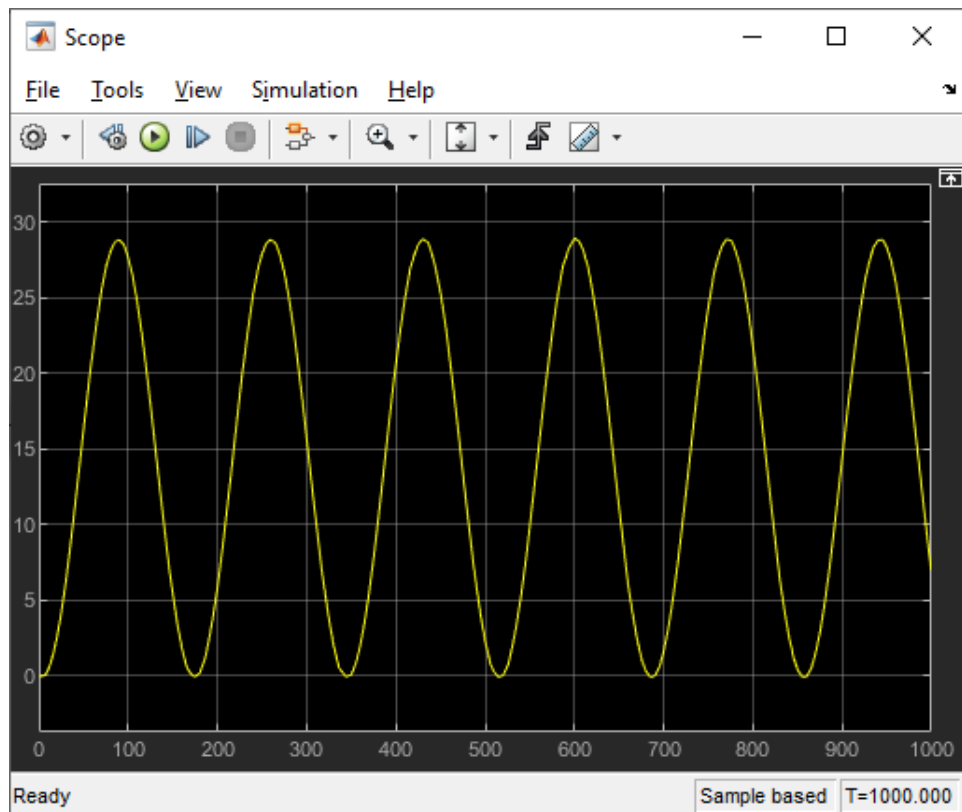


Рисунок 79 – Незатухающие колебания при $K_{\Pi} = 3870$

Далее измеряем период установившихся колебаний. На рисунке 80 видно, что период равен 170.732 с.

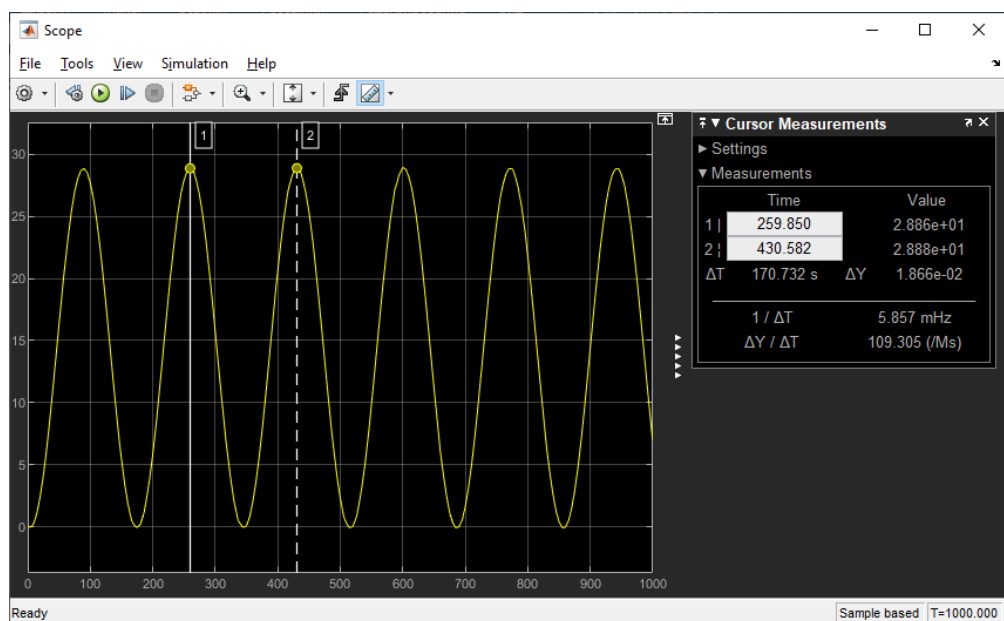


Рисунок 80 – Период установившихся колебаний

Зная эти значения находим пропорциональную K_p , интегральную K_i и дифференциальную K_d составляющие по приведенным ниже формулам (10), (11), (12):

$$K_p = 0.60 * K_p^* ; \quad (10)$$

$$K_i = 1.2 * \frac{K_p^*}{T} ; \quad (11)$$

$$K_d = 0.075 * K_p^* * T. \quad (12)$$

Определяем все составляющие:

$$K_p = 0.60 * K_p^* = 0.60 * 3870 = 2322;$$

$$K_i = 1.2 * \frac{K_p^*}{T} = 1.2 * \frac{3870}{170.732} = 27.2;$$

$$K_d = 0.075 * K_p^* * T = 0.075 * 3870 * 170.732 = 49554.963.$$

Затем открываем свойства ПИД-регулятора в системе и заносим вычисленные значения K_p , K_i , K_d составляющих (рисунок 81).

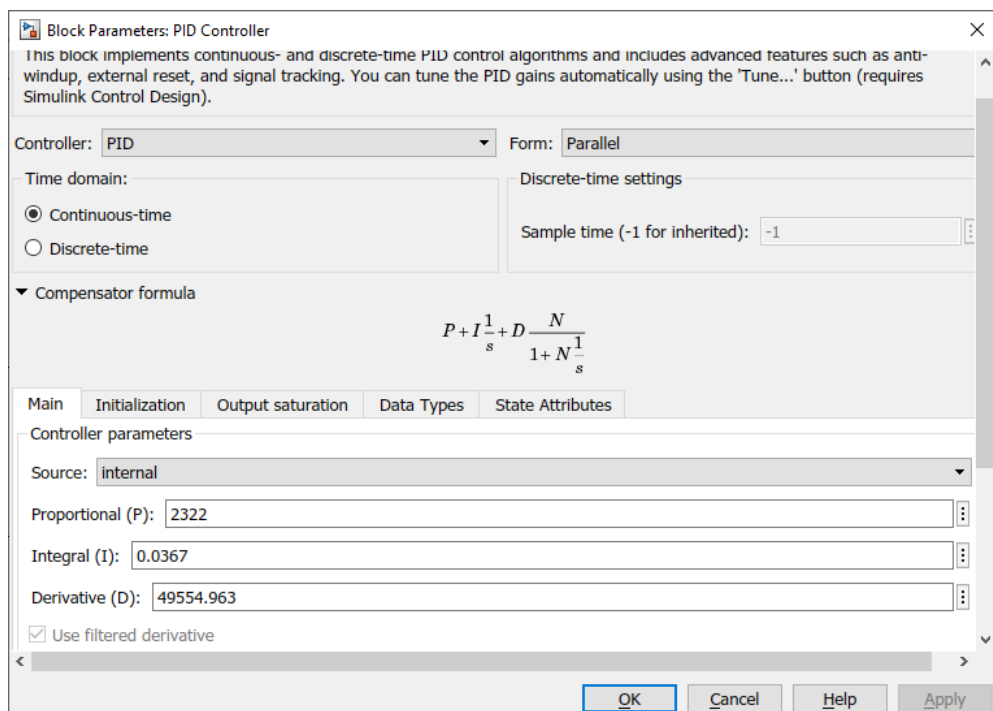


Рисунок 81 – Выставление параметров ПИД-регулятора

Интегральная составляющая ПИД-регулятора как видно на рисунке 80 имеет обратную зависимость, т.е. равна

$$K_i = \frac{1}{27.2} = 0.0367. \quad (13)$$

После выставления значений и проведения настройки ПИД-регулятора методом Циглера-Никольса, смотрим на график переходной характеристики (рисунок 82).

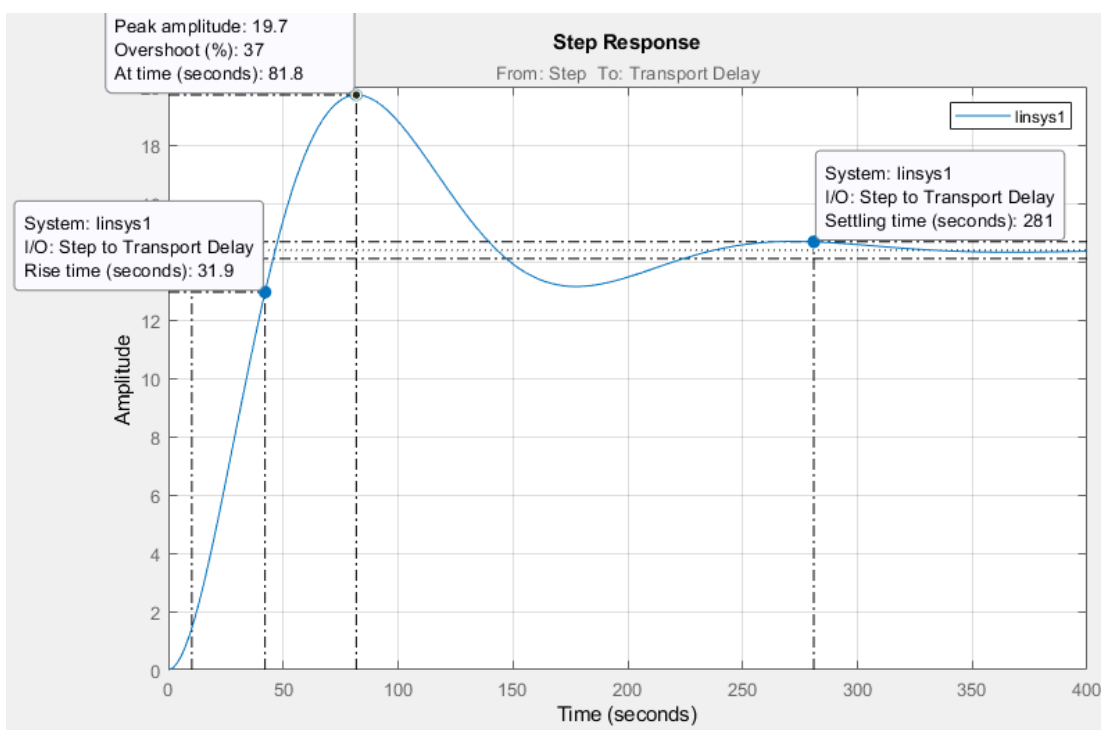


Рисунок 82 – Переходная характеристика

Согласно графику переходного процесса (рисунок 81) амплитудное значение составляет 19.7, перерегулирование составляет 37 %, время переходного процесса составляет 281 с. Время нарастания составляет 31.9 с. При настройке ПИД-регулятора методом Циглера-Никольса полученные результаты являются удовлетворительными [6].

7 Конструкция лабораторного комплекса

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена разработке комплекса, представляющего собой лабораторный стенд, предназначенный для ознакомления программных и технических средств контроллера КРОСС, а также для знакомства с техническими средствами, которые используются для регулирования температуры в лабораторном объекте, представляющим собой тепловую камеру.

В данном разделе проиллюстрировано описание конструкции лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры» на базе контроллера КРОСС 500. На рисунке 83 представлена схема лабораторного стенда.

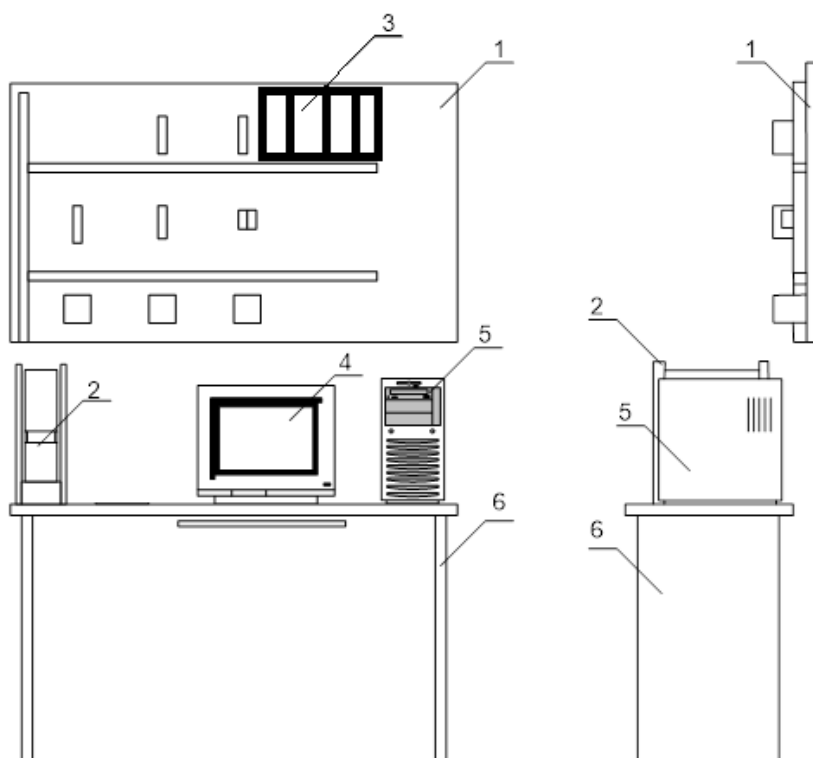


Рисунок 83 – Конструкция лабораторного стенда

В состав лабораторного комплекса входят следующие устройства (в соответствии с позиционными обозначениями на рисунке 82):

1. лабораторный стенд, включающий в себя следующие компоненты:

- блок питания;
 - клеммно-блочные соединители (КБС-1/1, КБС-1/2);
 - блок усиления мощности (БУМ-10);
 - блок реле;
 - коробка с монтажными проводами.
2. лабораторный объект (тепловая камера);
 3. контроллер КРОСС 500;
 4. монитор компьютера для удобства работы с диагональю 17;
 5. системный блок персонального компьютера;
 6. стол с выдвижной столешницей для клавиатуры.

При установке лабораторного комплекса и размещении в нем приборов учитывались факторы: влажность, температура, частота использования, функциональные связи, конструктивные особенности.

Наиболее важными частями лабораторного комплекса являются стенд объекта, контроллер, расположенные в оптимальной зоне поля зрения.

8 Выбор средств для реализации лабораторного стенда

В данном разделе необходимо осуществить выбор технических средств, используемых в стенде «Система автоматического регулирования температуры». К техническим средствам автоматизации относятся: датчики; исполнительные устройства; блоки реле и прочее коммутационное оборудование; контроллерное оборудование; операторские станции; программное обеспечение; человеко-машинный интерфейс и многое другое.

Так как техническим заданием для данной выпускной квалификационной работы является реализация лабораторного стенда на базе контроллера КРОСС 500 с реализацией человеко-машинного интерфейса в системе MasterSCADA, описание характеристик контроллера и системы MasterSCADA выполнено в начале основной части работы и выбор данных средств автоматизации в текущем разделе выполнять необязательно.

В составе разрабатываемого лабораторного стенда содержится одно измерительное устройство (датчик температуры), представляющее собой термометр сопротивления и одно исполнительное устройство, в качестве которого используется двигатель переменного тока.

При выборе средств автоматизации необходимо руководствоваться технической документацией того или иного оборудования и производить выбор в соответствии с требованиями технологического объекта.

8.1 Датчик температуры ТС-1088Л/1

Датчик температуры, представляющий собой термометр сопротивления, предназначен для измерения температуры жидких, твердых, газообразных и сыпучих сред, неагрессивных к материалу корпуса.

В данной работе необходимо производить измерение температуры воздуха, которая будет изменяться в диапазоне от комнатной температуры – 20-22 до 100 °С. Так как эта среда является неагрессивной, то можно выбрать

термометр сопротивления в самом экономичном исполнении. Этим условиям удовлетворяет термометр сопротивления ТС-1088Л/1 производства компании «Элемер» (рисунок 84).



Рисунок 84 – Термометр сопротивления ТС-1088Л/1

В таблице 24 приведены технические характеристики данного измерительного устройства.

Таблица 24 – Технические характеристики термометра сопротивления ТС-1088Л/1

Параметр	Значение
Номинальная статическая характеристика	100М
Диапазон температур, °С	От минус 50 до 200
Схема подключения	3-х проводная
Диаметр монтажной части D, мм	8
Длина монтажной части L, мм	100
Степень защиты	IP-65
Температура окружающей среды, °С	От минус 50 до 50
Класс точности	0.5

В приложении В представлен опросный лист данного термометра сопротивления.

8.2 Электродвигатель реверсивный РД-09

Данный электродвигатель компании «Энергосервис» (рисунок 85) используется в качестве исполнительного устройства в следящих системах автоматических приборов и во многих других технических решениях.



Рисунок 85 – Электродвигатель реверсивный РД-09

Данный двигатель работает на переменном токе. РД-09 состоит из электродвигателя и многоступенчатого цилиндрического редуктора. Конструктивно электродвигатель и редуктор размещены в одном корпусе. В таблице 25 приведены основные технические характеристики электродвигателя РД-09.

Таблица 25 – Технические характеристики электродвигателя РД-09

Параметр	Значение
Номинальное напряжение питания, В	127 В, 220
Частота питающего напряжения, Гц	50
Номинальная полезная мощность на валу ротора, Вт	1
Частота вращения выходного вала редуктора, об/мин	1,75; 2,5; 4,4; 8,7; 15,5; 30; 76; 185
Пусковой момент на выходном валу редуктора (в зависимости от редукции), Н*м	0,063; 0,156; 0,392; 0,754; 1,27
Ток, потребляемый обмоткой управления на холостом ходу, А	Не более 0,06; 0,35; 0,7
Напряжение трогания на обмотке управления, В	Не более 10; 1,5; 0,8
Габаритные размеры, мм	96×103×101
Вес, кг	Не более 0,95

В приложении Г представлен опросный лист электродвигателя РД-09.

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Одним из важнейших этапов при разработке технического проекта является расчет его технико-экономических показателей. В результате выполнения расчетов всех затрат и выявления преимуществ и недостатков разрабатываемого проекта можно выделить показатели рентабельности его внедрения в работу, социальную значимость и ряд других, имеющих существенное значение аспектов.

Основными целями выполнения данного раздела является расчет затрат на разработку лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры и анализ его ресурсоэффективности в ходе эксплуатации.

9.1 Организация и планирование комплекса работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей редко превышает двух (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна) в большинстве случаев предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные вышеуказанные данные должны быть сведены в специальную таблицу.

В таблице 26 приведен перечень, исполнители и загрузка основных этапов работ, имеющих место при разработке программно-методического обеспечения лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры.

Таблица 26 – Комплекс работ по разработке проекта

Номер раб.	Перечень работ	Исполнители	Загрузка исполнителей, %
1.	Составление задания, подбор литературы	И Р	100 75
2.	Исследование предметной области	И Р	100 30
3.	Подбор и изучение материалов по тематике	И	100
4.	Изучение и анализ необходимых компонентов среды разработки	И	100
5.	Подбор элементной базы	И Р	100 100
6.	Проектирование конструкции стенда	И Р	100 75
7.	Разработка внешних соединений комплекса	И Р	100 25
8.	Разработка программного обеспечения	И Р	100 30
9.	Сборка лабораторного стенда	И	100
10.	Проведение экспериментальных исследований	И Р	100 25
11.	Редактирование и отладка	И Р	100 50
12.	Подготовка методического обеспечения	И Р	100 100
13.	Оценка безопасности и экологичности работы	И Р	100 50
14.	Технико-экономическое обоснование проекта	И	100
15.	Составление и оформление пояснительной записки	И	100
16.	Разработка графического материала	И	100
17.	Защита дипломного проекта	И	100

9.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется формула:

$$t_{ож} = \frac{3 * t_{min} + 2 * t_{max}}{5}, \quad (14)$$

где $t_{ож}$ - вероятная продолжительность работ, дн;

t_{max}, t_{min} – максимальное и минимальное время работ соответственно, дн.

Для выполнения перечисленных работ потребуются следующие специалисты:

- инженер (И);
- руководитель (Р).

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рд}$) ведется по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} * K_{д}, \quad (15)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работ, дн;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1 - 1.2$, в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{рд} * T_{к}, \quad (16)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$ - коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} + T_{ВД} + T_{ПД}}, \quad (17)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ - выходные дни ($T_{ВД} = 104$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1.454.$$

Коэффициент календарности равен 1.454.

В таблице 27 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3-5 реализован экспертный способ по формуле 13. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта (научный руководитель и инженер) с учетом коэффициента $K_d = 1.2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \times K_d$. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на T_K . Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Две последних величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{КД}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта (таблица 28).

Таблица 27 – Определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					Р	И	Р	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление задания, подбор литературы	И Р	1	3	1,8	1,62	2,16	2,36	3,14
Исследование предметной области	И Р	3	7	4,6	1,656	5,52	2,41	8,03
Подбор и изучение материалов по тематике	И	2	4	2,8	0	3,36	0,00	4,89
Изучение и анализ необходимых компонентов среды разработки	И	3	6	4,2	0	5,04	0,00	7,33
Подбор элементной базы	И Р	2	5	3,2	3,84	3,84	5,58	5,58
Проектирование конструкции стенда	И Р	4	8	5,6	5,04	6,72	7,33	9,77
Разработка внешних соединений комплекса	И Р	5	10	7	2,1	8,4	3,05	12,2
Разработка программного обеспечения	И Р	3	8	5	1,8	6	2,62	8,72
Сборка лабораторного стенда	И	5	9	6,6	0	7,92	0,00	11,5







Продолжение таблицы 27 – Определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	Р	И	Р	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проведение экспериментальных исследований	И Р	1	2	1,4	0,42	1,68	0,61	2,44
Редактирование и отладка	И Р	2	3	2,4	1,44	2,88	2,09	4,19
Подготовка методического обеспечения	И Р	4	7	5,2	6,24	6,24	9,07	9,07
Оценка безопасности и экологичности работы	И Р	2	5	3,2	1,92	3,84	2,79	5,58
Технико-экономическое обоснование проекта	И	1	4	2,2	0	2,64	0,00	3,84
Составление и оформление пояснительной записки	И	1	2	1,4	0	1,68	0,00	2,44
Разработка графического материала	И	2	7	4	0	4,8	0,00	6,98
Защита дипломного проекта	И	1	5	2,6	0	3,12	0,00	4,54
ИТОГО	И Р			63,2	26,076	75,84	37,91	110,27

Таблица 28 – Линейный график осуществления проекта

Этап	Р	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	2,36	3,14											
2	2,41	8,03											
3	0,00	4,89											
4	0,00	7,33											
5	5,58	5,58											
6	7,33	9,77											
7	3,05	2,21											
8	2,62	8,72											
9	0,00	1,52											
10	0,61	2,44											
11	2,09	4,19											

Продолжение таблицы 28 – Линейный график осуществления проекта

Этап	Н	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
12	9,07	9,07											
13	2,79	5,58											
14	3,84	3,84											
15	2,44	2,44											
16	6,98	6,98											
17	4,54	4,54											

Р - 

И - 

9.2 Расчет сметы затрат на реализацию проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

9.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю.

Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах. В таблице 29 приведен расчет затрат на материалы.

Таблица 29 – Расчет затрат на материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага формата А4	Лист	200	0,3	60
USB-флэш-накопитель	Штук	1	750	750
Ручка	Штук	2	35	70
Картридж для принтера	Штук	1	650	650
Карандаш	Штук	2	20	40
Итого				1570

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 1570 * 1,05 = 1648,5$ руб.

9.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Величины месячных окладов (МО) для сотрудников ТПУ можно получить на его портале (*Главная → Структура ТПУ → Управление первого проректора → Планово-финансовый отдел → Регламентирующие документы*). Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где

исполнитель проходил преддипломную практику. При отсутствии такового берется оклад инженера собственной кафедры (лаборатории).

Средне-тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25.083}, \quad (18)$$

где $ЗП_{\text{дн-т}}$ – средне-тарифная заработная плата, руб;

МО – величина месячных окладов, руб.

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 30. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 26. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.зп}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 30 – Расчет затрат на полную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
Р	35127	1400.43	26	1.699	61862.6
И	9489	378.3	76	1.699	48847.61
Итого:					110710.21

9.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} * 0.3. \quad (19)$$

Итак, в нашем случае

$$C_{\text{соц}} = 110710.21 * 0.3 = 33213.063 \text{ руб.}$$

9.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} * t_{\text{об}} * Ц_{\text{э}}, \quad (20)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час, руб;

$t_{\text{об}}$ – работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 5.748 \frac{\text{руб}}{\text{кВт*час}}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_{\text{т}}, \quad (21)$$

где $t_{\text{об}}$ – работы оборудования, час;

$T_{\text{рд}} = 606.72$ – продолжительности выполнения каждого этапа, раб.дн;

$K_{\text{т}} \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} * K_c, \quad (22)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

В таблице 31 приведен расчет электроэнергии для технологических целей.

Таблица 31 – Расчет электроэнергии для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\Delta_{об}$, руб.
Персональный компьютер	606.72*0.7	0.3	732.36
Струйный принтер	606.72*0.005	0.1	1.74
Итого:			734.1

9.2.5 Расчет амортизационных расходов

В разделе «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. Используется формула

$$C_{ам} = \frac{H_A * C_{об} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (23)$$

где $C_{ам}$ – стоимость амортизационных расходов, руб;

H_A - годовая сумма амортизации единицы оборудования, $H_A = 25\%$;

$C_{об}$ – стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР, руб. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она

может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта, дн;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования, $n = 1$;

Величина F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{ам}$. Для ПК в 2019 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_d = 298 * 8 = 2384$ часа; При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Учитывая, что стоимость оборудования составляет 60000 рублей, рассчитаем амортизационные расходы:

$$C_{ам} = \frac{0.25 * 60000 * 606.72 * 1}{2384} = 3817.45 \text{ руб.}$$

9.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$\begin{aligned} C_{проч} &= (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об} + C_{ам}) * 0.1 \\ &= (1648.5 + 110710.21 + 33213.063 + 734.1 + 3817.45) * 0.1 \\ &= 15012.3323 \text{ руб.} \end{aligned}$$

9.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Система автоматического регулирования температуры». В таблице 32 приведен расчет общей себестоимости проекта.

Таблица 32 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1648.5
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	110710.21
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	33213.063
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	734.1
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3817.45
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	15012.3323
Итого:		165135.6553

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 165135.6553$.

9.3 Определение эффекта от разработанной системы

9.3.1 Финансовый эффект

Экономическая эффективность – соотношение экономического эффекта (увеличение прибыли, снижение издержек) к затратам, вызвавшим этот эффект.

Система автоматического регулирования температуры позволяет:

1. *Сокращать потребность в обслуживающем персонале, за счет автоматизации процесса.* Благодаря простоте интерфейса пользователя стенда «Система автоматического регулирования температуры» и подробно

описанному методическому пособию, студенты могут выполнять лабораторные работы без помощи дополнительного персонала в лице лаборанта или научного сотрудника, что существенно увеличивает экономический эффект от разрабатываемого проекта, так как отпадает необходимость в трате средств на заработную плату данного сотрудника. Дать количественную оценку финансовой эффективности проекта в данном пункте не представляется возможным, так как выявление количественной оценки требует дополнительного исследования.

2. *Проводить так же и обучение молодого персонала на данном комплексе.* Прохождение молодым персоналом обучения на разрабатываемом стенде существенно увеличивает финансовый эффект, так как с внедрением данной разработки отпадает необходимость обеспечивать обучение в организациях, проводящих просветительные мероприятия для начинающих специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств. Для того, чтобы дать количественную оценку необходимо обладать такими сведениями как:

- количество молодых специалистов, которых необходимо обучить за определенный промежуток времени (в данном случае это срок службы стенда, а это 15-20 лет);
- стоимость обучающих курсов на стороннем предприятии;
- размер командировочных выплат сотрудникам.

В виду невозможности выявления некоторых из вышеперечисленных сведений, дать количественную оценку в данном пункте представляется невозможным.

3. *За счет подключения к локальной сети Ethernet возможность управления несколькими контурами регулирования.* Данный аспект позволяет масштабировать проект.

4. *За счет встроенной системы ISaGRAF разработанный комплекс позволяет исполнять программы, написанные на технологических языках программирования нового поколения.* Возможность написания программ на

технологических языках программирования нового поколения гарантирует длительное использование данного учебного стенда.

10 Социальная ответственность

Для улучшения процесса производительности труда и достижения экономического эффекта необходимо выполнение ряда задач, являющихся жизненно важными в производственной и других областях. Необходимые показатели, являющиеся неотъемлемой частью данной области, достигаются посредством соблюдения законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Сохранность жизни и здоровья сотрудников напрямую зависит от строгого и безоговорочного выполнения всех норм техники безопасности.

В выпускной квалификационной работе рассматривается проектирование программно-методического обеспечения лабораторного стенда системы автоматического регулирования температуры. Данная разработка предназначена для того, чтобы студенты могли получать практические навыки при выполнении лабораторных работ, нацеленных на изучение закона ПИД-регулирования, составление алгоритма на технологическом языке программирования FBD, создание человеко-машинного интерфейса при помощи SCADA системы и ряда других аспектов в области автоматизации технологических процессов.

Лабораторный стенд «Система автоматического регулирования температуры», является удобным и практичным средством при изучении автоматизации технологических процессов. При его использовании отпадает необходимость прохождения студентами производственной практики на предприятиях, что существенно улучшает и ускоряет процесс обучения. Данное обстоятельство также исключает возможность получения студентами травм или иного вреда для здоровья при прохождении практики на предприятиях.

Лабораторный стенд расположен в десятом корпусе Томского политехнического университета, находящийся по адресу город Томск, проспект Ленина 2. Разработчиками данного стенда являются научный руководитель и инженер, которые в течении периода разработки, внедрения и монтажа стенда пребывали в городе Томске.

Климат города континентально-циклонический (переходный от европейского умеренно континентального к сибирскому резко континентальному). Среднегодовая температура: 0,9 °С. Безморозный период составляет 110-120 дней. Зима суровая и продолжительная.

В данном разделе рассмотрены наиболее важные социальные аспекты, к которым можно отнести: охрану труда; экологическую безопасность; безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда в ходе эксплуатации лабораторного стенда направлена его надежность, на безопасность обучающихся, обслуживающих лиц и научных сотрудников при соблюдении техники безопасности и принятии мер по устранению опасных и вредных факторов.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

10.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Организация труда производится в соответствии с правилами внутреннего распорядка Трудового кодекса Российской Федерации от 31.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [7].

Нормальная продолжительность рабочего времени для персонала, работающего с разрабатываемым стендом определяется ежедневным расписанием и не может превышать 40 часов в неделю.

В учебной аудитории, в которой располагается стенд, обслуживающим персоналом ежедневно проводятся мероприятия по выявлению неисправностей всего оборудования, опасных и вредных факторов. Также проводится проверка микроклимата помещения в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.4.548–96 [8]. Ежемесячно проводится проверка знаний техники безопасности и знаний правил охраны труда.

Обязательными условиями проведения безопасной исследовательской деятельности при использовании стенда являются:

- высокий показатель, обеспечивающий предупреждение всех опасных и вредных факторов;
- наличие коммуникационного оборудования для информирования о потенциальной угрозе безопасности;
- высокий уровень подготовки персонала в области техники безопасности, охраны труда и оказания первой медицинской помощи;
- отстранение от трудовой деятельности сотрудников, не соблюдающих требуемые правила безопасности.

10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Конструкция рабочего места и его расположение в рабочем пространстве регламентируется согласно требованиям нормативного документа ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [9]. Конструкцией рабочего места обеспечивается выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

Взаимное расположение элементов в рабочем пространстве осуществляется с учетом антропометрических данных взрослого человека.

Кресло человека-оператора должно подбираться таким образом, чтобы можно было поддерживать физиологически рациональные условия, такие как:

- удобная рабочая поза;
- длительное поддержание рабочей позы;
- естественные изгибы позвоночника;
- надлежащий режим отдыха;
- исключение затруднения рабочих движений;
- возможность регулирования высоты поверхности, угла наклона спинки;
- умягченные покрытия составных частей кресла;
- надежная фиксация в заданном положении [10].

Согласно ГОСТ 21958-76 [11] при компоновке рабочего места необходимо также учитывать конструктивные особенности таких элементов как: кресло-человека оператора; пульта управления; средств отображения информации; вспомогательного оборудования. При взаимном расположении рабочих мест операторов и коллективных средств отображения информации в залах и кабинах, а также операторов между собой должно обеспечивать:

- функциональные связи между операторами;
- максимальный обзор информационного поля коллективного средства отображения;
- средства отображения;
- свободное пространство для перемещения операторов и эксплуатации оборудования.

10.2. Профессиональная социальная безопасность

10.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы [12] по характеру своего происхождения подразделяют:

- на факторы, порождаемые физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды;
- факторы, порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых или находящихся в рабочей зоне веществ и материалов;
- факторы, порождаемые биологическими свойствами микроорганизмов, находящихся в биообъектах и (или) загрязняющих материальные объекты производственной среды;
- факторы, порождаемые поведенческими реакциями и защитными механизмами живых существ (укусы, ужаления, выброс ядовитых или иных защитных веществ и т.п.);
- факторы, порождаемые социально-экономическими и организационно-управленческими условиями осуществления трудовой деятельности (плохая организация работ, низкая культура безопасности и т.п.);
- факторы, порождаемые психическими и физиологическими свойствами и особенностями человеческого организма и личности работающего (плохое самочувствие работника, нахождение работника в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения или абстиненции, потеря концентрации внимания работниками и т.п.).

Объект исследования способен создать с опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 33.

Таблица 33 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96
2. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ
Электромагнитное излучение	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СП 52.13330.2016
5. Опасность поражения электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ
6. Вибрация		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566–96

Перечисленные в таблице 33 опасные и вредные факторы могут иметь следующие последствия:

- повышенный уровень шума. Источниками шума могут являться исполнительное устройство, находящееся в составе стенда, лампы дневного света и системные блоки электронно-вычислительных машин. Перечисленные источники данного фактора по отдельности вызывают незначительный шум, однако совокупности все эти шумы могут превышать допустимые значения. Шум неблагоприятно действует на организм человека, вызывает головную боль, под его влиянием развивается раздражительность, снижается внимание, замедляются сенсомоторные реакции, повышаются, а при чрезвычайно интенсивном действии понижаются возбуждательные процессы в коре головного мозга. Нормирование уровней шума в производственных условиях осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [13];

- электромагнитное излучение. Источниками электромагнитного излучения являются персональные вычислительные машины, контроллерное оборудования, коммутирующие устройства, электрические щитки, соединительные провода, имеющиеся в конструкции стенда полупроводниковые компоненты. Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряжения электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела. Нарушение в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. Общие требования безопасности приведены в СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [14];

- опасность поражения электрическим током. Источниками данного фактора являются электрические щитки, соединительные провода, коммутационные приборы (в основном розетки), распределительные коробки. Под действием переменного тока мышцы периодически сокращаются с частотой тока. Больше всего от действия электрического тока страдает центральная нервная система. Ее повреждение ведет к нарушению функционирования дыхательных путей и деятельности сердечно-сосудистой системы. Причиной летального исхода, как правило, становится остановка сердца или прекращение дыхания. Общие требования по электробезопасности приведены в ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [15];

- недостаточная освещенность рабочего места. Плохое освещение негативно воздействует на зрение человека, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы. Общие требования по нормированию освещения приведены в СП 52.13330.2016 [16];

- отклонения показателей микроклимата. Микроклимат влияет на тепловое состояние организма и его теплообмен с окружающей средой. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха

способствуют усилению конвективного теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота, что может привести к переохлаждению организма. При высокой температуре практически все выделяемое организмом тепло отдается в окружающую среду при испарении пота. Чем выше относительная влажность, тем медленнее испаряется пот и тем быстрее наступает перегрев тела. Недостаточная влажность приводит к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, что приводит к пересыханию, растрескиванию, а затем и заражению болезнетворными микробами;

- вибрация. Источником вибрации является двигатель, находящийся в составе стенда. Вибрация может вызвать повышенную утомляемость, увеличение времени двигательной и зрительной реакции, нарушение вестибулярных реакций и координации движений. Это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции.

10.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований

При проведении исследований при помощи лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры» могут возникнуть следующие вредные и опасные факторы:

- отклонение показателей микроклимата. В ходе проведения исследований, связанных с автоматическим регулированием температуры, возникают условия, отрицательно влияющие на микроклимат в помещении;

- вибрация. В составе стенда для регулирования температуры используется исполнительный механизм, представляющий собой электродвигатель переменного тока. В результате его работы может возникать вибрация.

10.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

В ходе проведения исследований на разрабатываемом лабораторном стенде возникают вредные и опасные факторы, описанные в пунктах 4.2.1 и 4.2.2. Требованиями безопасности предусматривается необходимость проведения мероприятий по предотвращению влияния на исследователя опасных и вредных факторов.

10.2.3.1 Повышенный уровень шума

Согласно требованиям санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [17] уровни шумов на рабочих местах не должны превышать допустимых значений.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле 24:

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (24)$$

где L – уровень звукового давления, Па;

P - среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

P_0 - исходное значение звукового давления в воздухе, равное $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука в дБА, измеренный на временной характеристике "медленно" шумомера, определяемый по формуле 25:

$$L = 20 \lg \frac{P_A}{P_0}, \quad (25)$$

где L – уровень звукового давления, Па;

P_A - среднеквадратичная величина звукового давления с учетом коррекции "А" шумомера, Па;

P_0 - исходное значение звукового давления в воздухе, равное $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Допустимым уровнем звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте следует принимать данные из таблицы 34.

Таблица 34 - Допустимый уровень звукового давления в октавных полосах частот

Помещения и рабочие места	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					Уровень звука, дБА
	63	12	26	10	4000	
Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	68	55	50	60

К средствам индивидуальной защиты противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы, каски и специальные костюмы.

Методы и средства коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические и включают в себя:

- изменение направленности шума;

- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
- акустическую обработку помещений;
- применение звукоизоляции.

10.2.3.2 Электромагнитное излучение

В ходе эксплуатации лабораторного стенда и проведения на нём лабораторных исследований, используется электронно-вычислительная машина, в составе которой есть элементы, производящие электромагнитные излучения. К этим элементам относятся: монитор; системный блок.

В соответствии с требованиями стандарта СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [14] допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых персональной электронно-вычислительной машиной, не должны превышать значений, представленных в таблице 35.

К коллективным средствам защиты от электромагнитного излучения относятся защита «временем и расстоянием» и стационарные экраны.

К индивидуальным средствам защиты относятся в основном индивидуальные экранирующие комплекты и специализированные костюмы, такие как халаты, головные уборы и фартуки.

Таблица 35 – Допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых персональной электронно-вычислительной машиной

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

10.2.3.3 Опасность поражения электрическим током

Для безопасного проведения исследовательских работ на лабораторном стенде «Система автоматического регулирования температуры» необходимо создать условия, отвечающие требованиям стандарта ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ [15].

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применять следующие технические способы и средства (основная защита):

- основная изоляция;
- защитные оболочки;
- безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями;
- ограничение напряжения, применение сверхнизкого (малого) напряжения;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- ограничение установившегося тока прикосновения и электрического заряда;
- предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности;
- электрическое разделение.

10.2.3.4 Недостаточная освещенность рабочего места

Для проведения исследовательских работ рабочее место должно быть хорошо освещено. Освещение может быть естественным или искусственным. Освещенность на рабочем месте не должна быть менее 400 люкс. Индекс цветопередачи должен быть в пределах значений $R_0 \geq 80$. Коэффициент пульсации освещенности не должен превышать 10 %. Согласно требованиям

санитарных норм, СП 52.13330.2016 [16], предусмотрено выполнение следующих мероприятий:

- реализация системы освещения таким образом, чтобы исследователь мог отчётливо видеть результаты, полученные в процессе исследования и выполнять необходимые записи без напряжения зрения;
- выполнение в рабочем помещении естественного освещения;
- исключение в одном помещении для общего освещения источники света различной природы излучения (люминесцентные лампы и лампы накаливания).

10.2.3.5 Отклонение показателей микроклимата

Для проведения исследований в рабочем пространстве необходимо обеспечить оптимальные условия микроклимата. Требования по оптимальному микроклимату регламентируются санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами СанПиН 2.2.4.548-96 [8].

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 36, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 36 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIIб (более 290)	17-19	16-20	60-40	0,2
		16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIIб (более 290)	19-21	18-22	60-40	0,2
		18-20	17-21	60-40	0,3

При отклонениях параметров микроклимата коллективная защита работников в рабочем помещении решается путём нормализации метеорологических условий производственной среды. Способы нормализации метеорологических условий производственной среды – это вентиляция, отопление, кондиционирование.

При отклонениях микроклимата к средствам индивидуальной защиты относятся: специальная одежда, обувь, средства защиты рук, средства защиты головы, средства защиты лица и глаз.

10.2.3.6 Вибрация

Согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.566–96 [18] предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в таблице 37.

Таблица 37 - Предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч)

Предельно допустимые значения по осям $X_{\text{л}}, Y_{\text{л}}, Z_{\text{л}}$				
Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	виброускорения		виброскорости	
	м/с	дБ		м/с
8	1,4	123	8	1,4
16	1,4	123	16	1,4
31,5	2,8	129	31,5	2,8
63	5,6	135	63	5,6
125	11,0	141	125	11,0
250	22,0	147	250	22,0
500	45,0	153	500	45,0
1000	89,0	159	1000	89,0
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

В качестве средств коллективной защиты от вибрации используются:

- виброгашение;
- повышение жесткости системы;
- виброизоляция.

В качестве средств индивидуальной защиты от вибрации для рук и ног используются защитные перчатки, рукавицы, прокладки, вкладыши, защитная обувь, стельки и подметки. Виброизоляционные элементы одежды отличаются от обычных наличием упругодемпфирующим элементом. Их изготавливают из поролона, пенопласта или губчатой резины. Для защиты рук от вибрации также применяют рукавицы с эластично-трубчатыми элементами. Трубчатые элементы крепятся накладками перпендикулярно оси рукавицы или вставляются в накладной карман.

10.3 Экологическая безопасность

10.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Защита окружающей среды – это комплексная программа, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным, малоотходным и энергосберегающим технологиям и производствам.

Важнейшим этапом обращения с отходами является их сбор, а в дальнейшем переработка, утилизация и захоронение.

Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве, относятся к вторичным материальным ресурсам. В данной работе использованная и ненужная бумага сдается в макулатуру, а также пластмасса, которая ликвидируется методом высокотемпературного нагрева без доступа воздуха (пиролиз), в результате которого из отходов пластмасс в

смеси с другими отходами получают ценные продукты. Промышленный мусор передается по договору на полигон отходов.

10.3.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования

Оценка жизненного цикла объекта производится согласно общим принципам стандарта ГОСТ Р ИСО 1410-2010 [19].

Жизненный цикл объекта можно разделить на три стадии:

- разработка;
- эксплуатация;
- утилизация.

В результате деятельности при разработке данной работы образуются отходы:

- бумага;
- полиэтилен от упаковок;
- пластмасса (дискеты, диски, коробки от дисков);
- промышленный мусор.

На стадии эксплуатации лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры» не образуются отходы и не происходит загрязнения окружающей среды. Однако, в ходе эксплуатации объекта возможна его модернизация и внедрение новых элементов автоматизации, в результате чего могут быть выявлены новые факторы, влияющие на окружающую среду.

Финальная стадия жизненного цикла объекта предполагает его утилизацию. В результате утилизации объекта, образуются такие отходы как:

- пластик;
- металл;
- полиэтилен от упаковок;
- промышленный мусор.

Эти отходы также могут быть переработаны.

10.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

В соответствии с требованиями гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532–18 [20] предельно допустимые концентрации в воздухе не должны превышать значений, приведенных в таблице 38.

Таблица 38 – Предельно допустимые концентрации веществ в воздухе

Наименование вещества	ПДК _{уд} ¹ , мг/м ³
оксид углерода СО	0,085
диоксид серы	0,5
оксиды азота МO,	0,4
углеводороды С	5
Пыль	4,0

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

10.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В ходе эксплуатации, рассматриваемый объект может создать условия, при которых могут возникнуть поражающие факторы. Руководствуясь государственным стандартом ГОСТ Р 22.0.07-95 [21] наиболее вероятными, при эксплуатации объекта могут быть следующие ЧС:

- пожар;
- взрыв.

Источниками данных ЧС могут являться:

- неисправность электрической проводки;
- несоблюдение основных правил пожарной безопасности;
- возгорание электроприборов – неисправных, самодельных или оставленных без присмотра;
- неосторожное использование тепловой камеры стенда «Система автоматического регулирования температуры».

10.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Так как наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар и взрыв необходимо в случае возникновения данных ЧС принять следующие меры в соответствии с федеральным законом от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, технический регламент о требованиях пожарной безопасности [22].

Ликвидация аварий, возникших в результате эксплуатации лабораторного стенда, производится под руководством сотрудника, ответственного за работу лаборатории. Им может быть инженер или руководитель лаборатории.

В случае появления чрезвычайной ситуации, необходимо сообщить дежурному персоналу. Дежурный персонал должен принять все меры по ликвидации аварии.

При возникновении ЧС необходимо принять следующие инженерно-технические меры:

- укрытие людей в специально отведенных местах;
- увеличение надежности элементов жизнеобеспечения (водоснабжения, энергетического снабжения, теплофикации) в случае возникновения аварийных ситуаций, стихийных бедствий и при наступлении военных событий;
- выполнение работ градостроительного характера, которые дают возможность при разворачивании крупномасштабных чрезвычайных действий.

Основной способ защиты населения от чрезвычайных ситуаций – укрытие сотрудников предприятий или всевозможных строительных объектов в сооружениях защитного типа. В соответствии с законодательными нормами, регламентируемыми стандартом ГОСТ Р 22.3.03-94 [23] к таким сооружениям относят убежища и

противорадиационные укрытия. Эти укрытия должны защищать укрываемых в них людей от действия повышенного давления в фронте ударных волновых воздействий 1 кгс/см^2 .

Одним из важнейших аспектов при ликвидации чрезвычайных происшествий является надлежащее оповещение сотрудников о ЧС и четкая формулировка характера аварии. Также в ходе предотвращения ЧС необходимо обеспечить скорость распространения информации об аварии, исключив провоцирование паники. Данные обстоятельства являются неотъемлемыми условиями качественного устранения аварии и обеспечения защиты жизни и здоровья людей.

В ходе выявления условий ведения исследовательской деятельности на лабораторном стенде «Система автоматического регулирования температуры» были описаны основные характерные для проектируемой рабочей зоны правовые нормы трудового законодательства, выявлены все вредные и опасные факторы, был проведен анализ влияния объекта исследования на окружающую среду и анализ «жизненного цикла» объекта исследования. Также был произведён анализ наиболее вероятных ЧС, которые могут быть спровоцированы объектом исследования. В результате проведения всех анализов были описаны методы проведения необходимых мероприятий, способствующих безопасному ведению исследовательской деятельности.

Заключение

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы разработан лабораторный комплекс «Система автоматического регулирования температуры» построенный на базе промышленного контроллера КРОСС 500. В состав лабораторного комплекса входит аппаратная часть, программное и методическое обеспечение, необходимое для выполнения лабораторной работы.

Разработанный лабораторный комплекс предназначен для изучения технологии программирования в системе ISaGRAF, методики работы со SCADA-системой MasterSCADA и получения практических навыков по реализации способов визуализации процесса управления на примере системы автоматического регулирования температуры.

Также в данной выпускной квалификационной работе представлен раздел по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Данный лабораторный комплекс будет для использования в учебном процессе инженерной школы информационных технологий и робототехники для студентов, обучающихся по специальности 15.03.04 "Автоматизация технологических процессов и производств".

Список использованной литературы

1. Языки программирования МЭК 61131-3 [Электронный ресурс]: - Режим доступа <http://www.adastra.ru/products/overview/IEC61131/> свободный. (Дата обращения 2020.05.29).
2. Контроллер КРОСС-500. Руководство по эксплуатации. Система технологического программирования ISaGRAF.
3. Аврамчук В.С., Скороспешкин В.Н. Локальная система автоматического регулирования температуры электрической печи на базе промышленного регулятора «РП4-ТМ1» // Методические указания по выполнению лабораторной работы № 7 по курсу «Основы автоматизации производственных процессов». Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2010.- 31 с.
4. Панкратов В. С. Развитие АСДУ ГТП на базе современных SCADA-систем.-М.: ООО «ИРЦ Газпром».- 2003.- 90 с.
5. Ротач В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для ВУЗов.-М.: Энергоатомиздат, 1985.-296 с.
6. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: метод. указания к выполнению лаб. работы для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и нанoeлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / сост. О.С. Вадутов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 10 с.
7. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
8. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
9. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

10. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
11. ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.
12. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
13. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
14. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
15. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
16. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
17. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
18. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
19. ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного Цикла. Принципы и структура.
20. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
21. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
22. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
23. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.

**Приложение (обязательное). Методические указания по
выполнению лабораторной работы**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШИТР
_____ Д.М. Сонькин
« ____ » « _____ » 2020 г.

А.Д. Сулиев

**СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА
УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМ ОБЪЕКТОМ
В ПАКЕТЕ MasterSCADA**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Автоматизированные информационно-управляющие системы» для
студентов IV курса, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация
технологических процессов и производств»

Издательство

Томского политехнического университета

2020

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

С446

Сулиев А.Д.

Создание программы визуализации процесса управления тепловым объектом в пакете MasterScada: Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Автоматизированные информационно-управляющие системы для студентов IV курса, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / А.Д. Сулиев ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 28 с.

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром отделения автоматизации и робототехники ИШИТР «__» _____ 2020 г.

Руководитель отделения АИРТ ИШИТР
кандидат технических наук

_____ *А.А. Филипас*

Председатель учебно-методической
комиссии

_____ *Т.Е. Мамонова*

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент отделения автоматизации и
робототехники ИШИТР ТПУ

М.С. Суходоев

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2019

© Сулиев А.Д.

Цель работы: получение навыков работы в пакете Master SCADA при создании программ визуализации процессов контроля, регулирования и сигнализации.

1 Назначение SCADA-систем, виды SCADA-систем

SCADA (сокр. от англ. *Supervisory Control And Data Acquisition* – диспетчерское управление и сбор данных) – процесс сбора информации реального времени с удаленных точек (объектов) для обработки, анализа и возможного управления удаленными объектами.

Применение SCADA-систем позволяет существенно сократить сроки разработки программного обеспечения, обеспечить высокое качество регулирования, при этом при создании программного обеспечения профессиональные программисты могут и не привлекаться.

Все современные SCADA-системы включают три основных структурных компонента, представленные на рисунке А1.1.

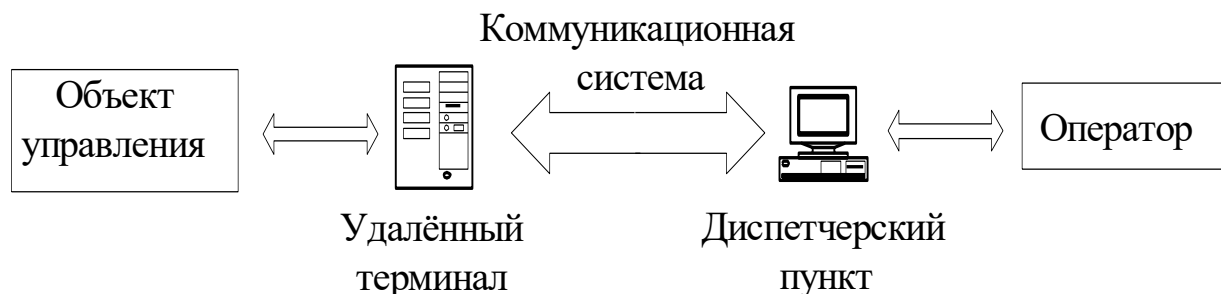


Рисунок А1.1 - Основные структурные компоненты SCADA системы

Удаленный терминал (Remote Terminal Unit - RTU) осуществляет обработку задачи (управление) в режиме реального времени.

Диспетчерский пункт управления (Master Terminal Unit - MTU) осуществляет обработку данных и управление высокого уровня, как правило, в режиме реального времени. Одна из его основных функций – обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой.

Коммуникационная система (каналы связи – Communication System (CS)) необходима для передачи данных с удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на диспетчерский пункт (или удаленный объект – в зависимости от конкретного исполнения системы).

К SCADA-системам предъявляются следующие *основные требования*:

- надежность системы (технологическая и функциональная);
- безопасность управления;
- точность обработки и представления данных;
- простота расширения системы.

В силу тех требований, которые предъявляются к системам SCADA, спектр их функциональных возможностей определен и реализован практически во всех пакетах. Перечислим основные возможности и средства, присущие всем системам и различающиеся только техническими особенностями реализации:

- автоматизированная разработка, дающая возможность создания программного обеспечения (ПО) системы автоматизации без реального программирования;
- средства сбора первичной информации от устройств нижнего уровня;
- средства управления и регистрации сигналов об аварийных ситуациях;
- средства хранения информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных);
- средства обработки первичной информации;

- средства визуализации представления информации в виде графиков, гистограмм и т.п.;
- возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как единое целое (recipe , или установки).

На современном мировом рынке программного обеспечения существует большое количество фирм, выпускаемой продукцией которых являются SCADA-пакеты. Ниже перечислены только некоторые из популярных на западном и российском рынках SCADA-систем, имеющих некоторую поддержку в России (таблица А1.1).

Таблица А1.1 - Основные фирмы разработчики SCADA- пакетов

Фирма разработчик	Страна	Фирма распространитель в России	Название SCADA-пакета
AdAstra Res. Group	Россия	AdAstra Res. Group	TRACE MODE
Intellution	США	Индасофт	FIX
Ci Technologies	Австралия	РТСофт	Citect
Wonderware	США	РТСофт	InTouch
Iconics	США	ПроСофт	Genesis
Инсат	Россия	Инсат	VNS MasterSCADA

Перечисленные выше возможности систем SCADA в значительной мере определяют стоимость и сроки создания ПО, а также сроки ее окупаемости.

2 Отличительные особенности пакета программ MasterScada

MasterScada - это не просто один из современных SCADA-пакетов, это принципиально новый инструмент разработки АСУТП, в котором реализована совокупность средств и методов, обеспечивающих резкое сокращение трудозатрат и повышение надежности создаваемой системы.

MasterScada является полнофункциональным SCADA-пакетом программ с расширяемой функциональностью. Пакет построен на клиент-серверной архитектуре с возможностью функционирования, как в локальных сетях, так и в Интернете. Прием и передача данных и сообщений на основе стандартов OPC встроена в ядро пакета. Максимальная поддержка всех стандартов (XML, HTML, ODBC, OLE, COM/DCOM, ActiveX и др.) и открытые описания интерфейсов и форматов данных обеспечивают все необходимые возможности для стыковки с внешними программами и системами.

Основные преимущества пакета:

1. Единая среда разработки АСУТП;
2. Раздельное конфигурирование структуры АСУТП и логической структуры объекта;
3. Открытость и следование стандартам;
4. Интуитивная легкость освоения:
 - удобство инструментария;
 - удобство методики разработки;
 - мощная трехмерная графика и мультимедиа;
 - неограниченная гибкость вычислительных возможностей.
5. Объектный подход.

Пользовательский интерфейс MasterScada (рис. А2.1) построен на идеологии «все в одном». Все модули расширения встроены в общую оболочку. Пользователь всегда работает с простым единым внешним видом программы, состоящим из древовидного проекта, палитры библиотечных элементов и окна редактирования документов и свойств. В зависимости от типа настраиваемого свойства или редактируемого документа в окне редактирования открывается страница настройки нужного свойства, либо необходимый встроенный или внешний редактор. Например, встроенный редактор мнемосхем или внешний редактор текстовых описаний.

Проект состоит из двух разделов: «Система» и «Объект». Раздел «Система» описывает техническую структуру реализуемой системы. Раздел «Объект» описывает иерархическую структуру контролируемого технологического объекта свойства и документы каждого объекта.

Окно проекта состоит из четырех основных частей (рис. А2.1):

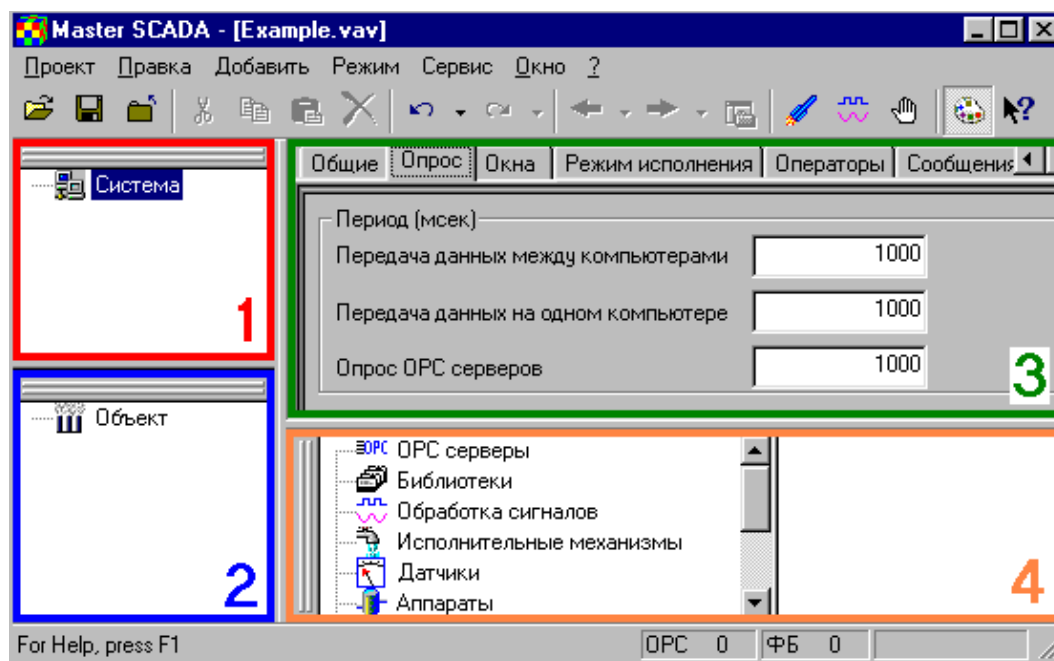


Рисунок А2.1 - Окно проекта MasterSCADA

1. Дерево системы, в котором отображены элементы конфигурации такие, как компьютеры, OPC серверы, и т. д.
2. Дерево объектов, включающее в себя объекты, переменные, группы переменных, функциональные элементы.
3. Страницы свойств элементов, на которых производятся все необходимые настройки элементов.
4. Палитра элементов, из которой берутся библиотечные объекты, функциональные блоки и т. д.


Размеры дерева системы, дерева объектов и палитры можно изменять и они могут располагаться в любом месте экрана. Страницы свойств занимают все оставшееся пространство.


Встроенные программные средства позволяют:


- вести обработку данных;
- составлять сценарии наступления событий;
- создавать схемы и мнемосхемы, тренды;
- выдавать сообщения и составлять рапорты;
- вести архивирование;
- обмениваться данными по сети;
- ограничивать права доступа и вести контроль действий оператора;
- отлаживать созданные программы;
- повышать надежность работы.

Режимы работы

Существует три возможных варианта работы в режиме исполнения.

- Рабочий режим. Включается командой "Пуск" из меню "Режим", или кнопкой  на панели инструментов. Это основной режим исполнения. В Рабочем режиме должен быть осуществлен переход к нему на всех компьютерах системы. Программа производит реальное управление технологическим процессом.

- Режим отладки. Включается командой "Отладка" из меню "Режим", или кнопкой  на панели инструментов. Этот режим предназначен для отладки проекта на одном компьютере. Независимо от того, сколько компьютеров находится в дереве системы, все объекты, функциональные блоки, OPC серверы создаются на текущем компьютере и все действия производятся на нем.

- Режим имитации. Включается командой "Имитация" из меню "Режим", или кнопкой  на панели инструментов. В этом режиме на все входы, не имеющие связей, вместо констант будет подаваться имитация в соответствии с настройками Системы.

3 Лабораторный комплекс управления тепловым объектом

В рассматриваемую в данной работе систему управления тепловым объектом входят:

- тепловая камера;
- стенд с контроллером;
- персональный компьютер - операторская станция.

Структурная схема системы управления тепловым объектом представлена на рисунке А3.1

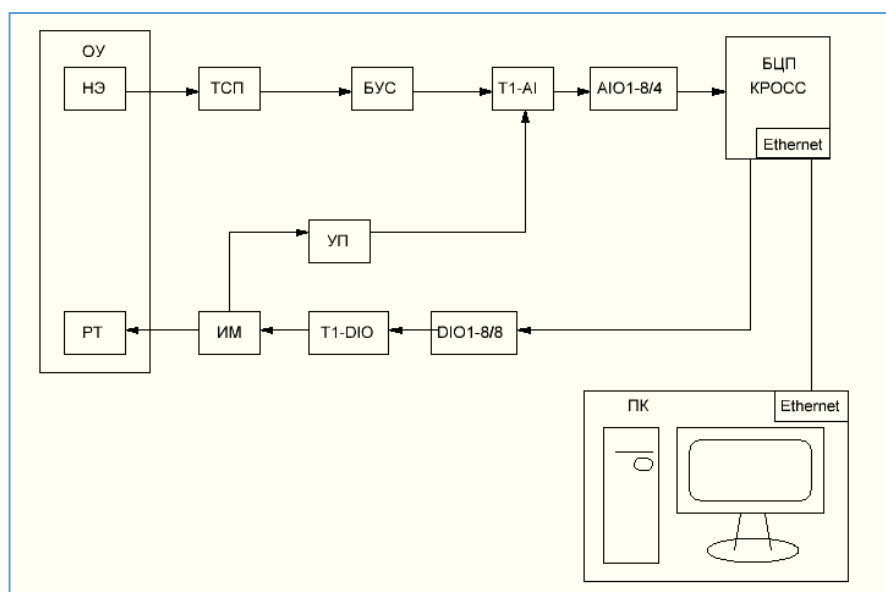


Рисунок А3.1 - Структурная схема лабораторного комплекса

На рисунке использованы следующие обозначения:

- ОУ – объект управления.
- НЭ – нагревательный элемент.

- ТСП – термометр сопротивления.
- БУС – блок усиления сигнала.
- Т1-АИ – аналоговый терминальный блок.
- АИО1-8/4 – аналоговый модуль ввода/вывода.
- РТ – регулятор тока.
- УП – указатель положения.
- ДТБ – дискретный терминальный блок.
- ИМ – исполнительный механизм.
- ДИО1-8/8 – дискретный модуль ввода/вывода.
- Т1-ДИО – дискретный терминальный блок.
- ОС – операторская станция.

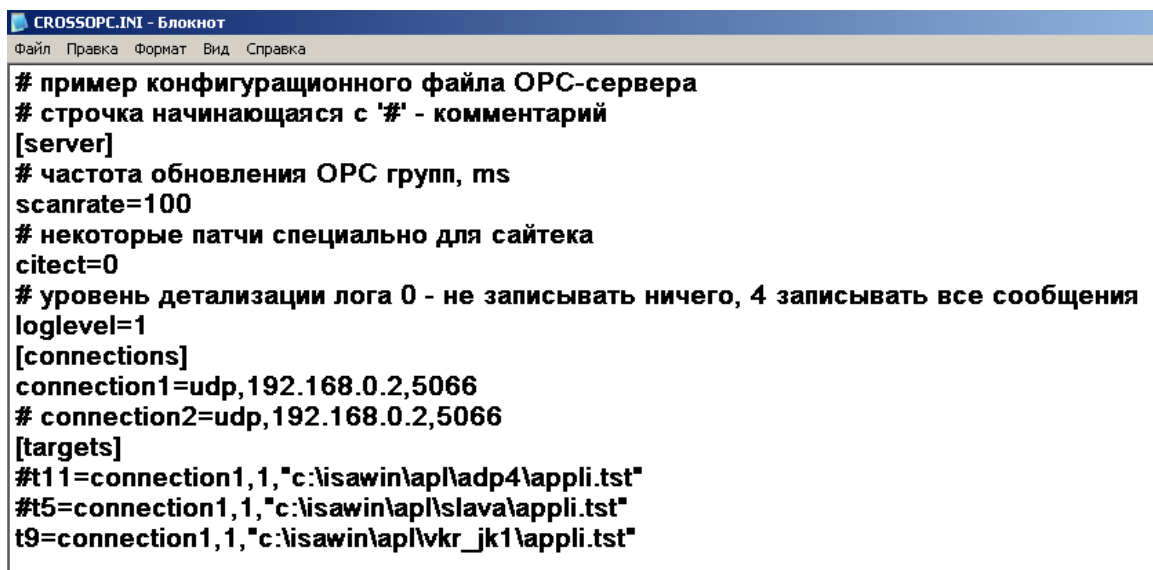
В роли нагревательного элемента используется лампа накаливания мощностью 75 ватт для сети переменного тока напряжением 220 вольт. В качестве термометра используется термометр сопротивления ТСП-50. Диапазон измерений данного чувствительного элемента составляет от минус 200 °С до 650 °С. Сопротивление изменяется от 17.28 Ом до 333.25 Ом. Это сопротивление преобразуется в унифицированный токовый сигнал 0-5 мА с помощью блока усиления сигналов резисторных датчиков БУС-10. На выходе усилителя подключен резистор сопротивлением 1кОм, падение напряжения на котором пропорционально протекающему току и изменяется от 0 до 5 вольт. Это напряжение поступает в аналоговый терминальный блок, который также входит в состав контроллера КРОСС 500. Терминальный блок, в свою очередь, связан с модулем ввода/вывода посредством гибких соединений. С модуля ввода/вывода сигнал идет в процессорную часть контроллера, где формируется управляющее воздействие. Управляющее воздействие подает импульсы на исполнительный механизм. Регулятор тока изменяет мощность нагрузки, пропорционально приложенному напряжению от 0 до 5 вольт, поданного на выводы управления. Информация на операторскую станцию вводится с помощью интерфейса TCP/IP Ethernet.

4 Настройка OPC - сервера

Для связи между каналами и переменными в приложении ISAGRAF используется OPC сервер контроллера КРОСС.

CrossOPC сервер (далее OPC-сервер) предназначен для подсоединения и обмена данными между ISaGRAF-приложением контроллера КРОСС и SCADA-системами. OPC-сервер работает под управлением ОС Windows NT и предоставляет данные OPC-клиентам через интерфейс, определяемый спецификацией OPC Data Access 2.0).

С ISaGRAF-приложениями OPC-сервер соединяется по последовательному порту или по протоколу TCP/IP. Формат файла crossopc.ini (рисунок А4.1)



```
# пример конфигурационного файла OPC-сервера
# строка начинающаяся с '#' - комментарий
[server]
# частота обновления OPC групп, ms
scanrate=100
# некоторые патчи специально для сайтека
citect=0
# уровень детализации лога 0 - не записывать ничего, 4 записывать все сообщения
loglevel=1
[connections]
connection1=udp,192.168.0.2,5066
# connection2=udp,192.168.0.2,5066
[targets]
#t11=connection1,1,"c:\\isawin\\apl\\adp4\\appli.tst"
#t5=connection1,1,"c:\\isawin\\apl\\slava\\appli.tst"
t9=connection1,1,"c:\\isawin\\apl\\vkr_jk1\\appli.tst"
```

Рисунок А4.1 - Блокнот CROSSOPC

Это текстовый файл в стиле стандартных ini-файлов windows, расположенный по адресу *Program files/ OPC Server/ CROSSOPC*. Каждая строка содержит либо комментарий, начинающийся с символа "точка с запятой", либо заголовок секции, либо набор параметров секции. Имена параметров к регистру нечувствительны.

Обратите внимание на секцию [targets]. Секция **[TARGETS]** содержит определения задач (targets). Под задачей подразумевается исполнительная система ISaGRAF, выполняемая на контроллере. На контроллере может быть запущено несколько задач одновременно, но в стандартной версии на контроллере запускается только одна задача ISaGRAF с логическим номером 1.

Формат:

<targetname>=<connection_name>,<logical_num>,"< appli.tst >"

Таблица А4.1 – Параметры

<target_name>	имя целевой задачи
<connection_name>	имя подключения, определенное в секции [connections]
<logical_num >	логический номер задачи, обычно 1
<appli.tst >	путь к файлу appli.tst, который содержит определения переменных целевой задачи ISaGRAF

Например, в последней строке указан путь к файлу, в котором содержатся определения переменных программы vkr_jk1 ISaGRAF. Отсутствие # в начале строки значит, что будут определены переменные только программы vkr_jk1.

5 Методика создания программы визуализации САР температуры в пакете MasterScada

Любая программа визуализации использует переменные технологической программы пользователя контроллера КРОСС, т.е. переменные SCADA-системы ссылаются на переменные ISaGRAF. При этом связь переменных осуществляется через OPC сервер, предназначенный для сопряжения ISaGRAF с MasterScada. Поэтому перед началом создания

программы визуализации необходимо настроить и запустить OPC – сервер (см. п. 4).

5.1 Создание проекта

Запустите программу MasterScada (ПУСК/ВСЕ ПРОГРАММЫ/MasterScada/MasterScada). В результате появится окно «Создание проекта» (рис. А5.1), в котором введите имя своего проекта. Затем введите пароль доступа к вашему проекту (рис. А5.2). Если ничего не ввести, то при новом запуске ваш проект не будет требовать пароль.

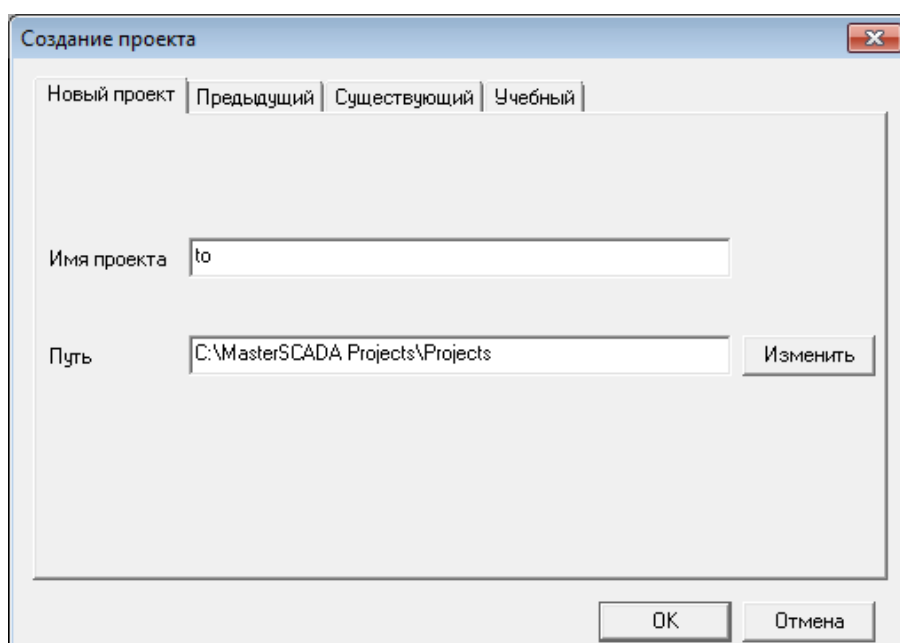


Рисунок А5.1 – Окно создания проекта

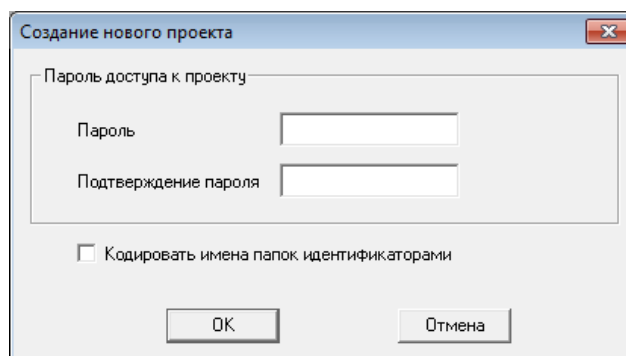


Рисунок А5.2 – Окно установления пароля

В итоге появится окно проекта (рис. А5.3):

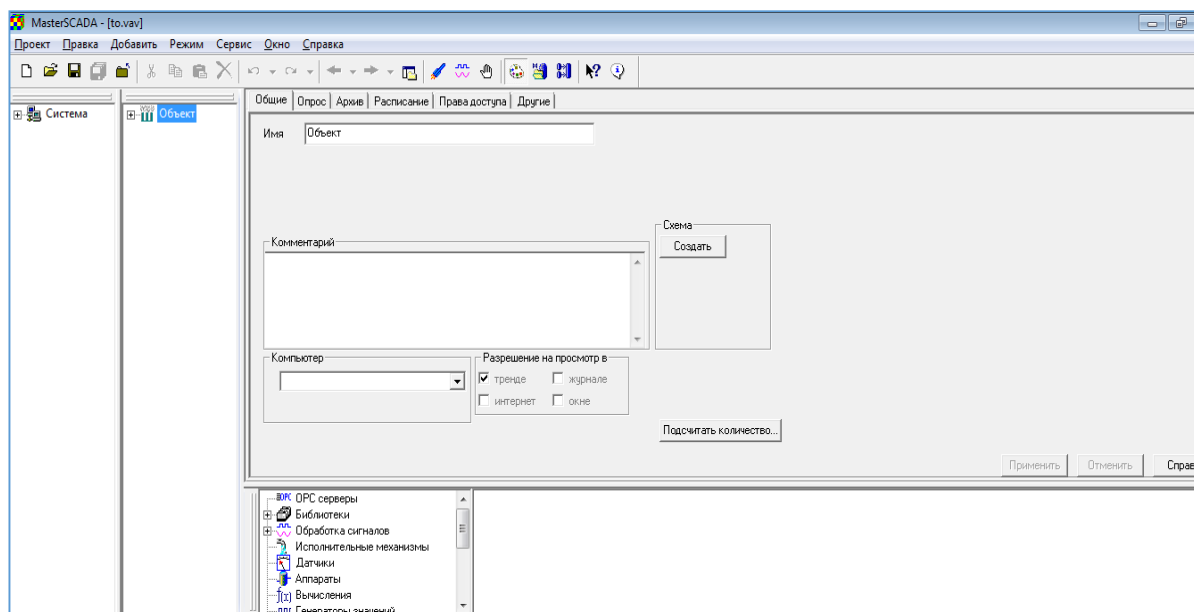


Рисунок А5.3 – Окно проекта

Теперь создадим соединение между контроллером и средой ISaGRAF. Для этого выделите объект «Система» в дереве системы и щелкните по ней правой клавишей (ПК), выберете ВСТАВИТЬ/КОМПЬЮТЕР (рисунок А5.4). В странице свойств элемента в поле «Имя» введите «titan2», не забыв нажать на кнопку ПРИМЕНИТЬ – для сохранения.

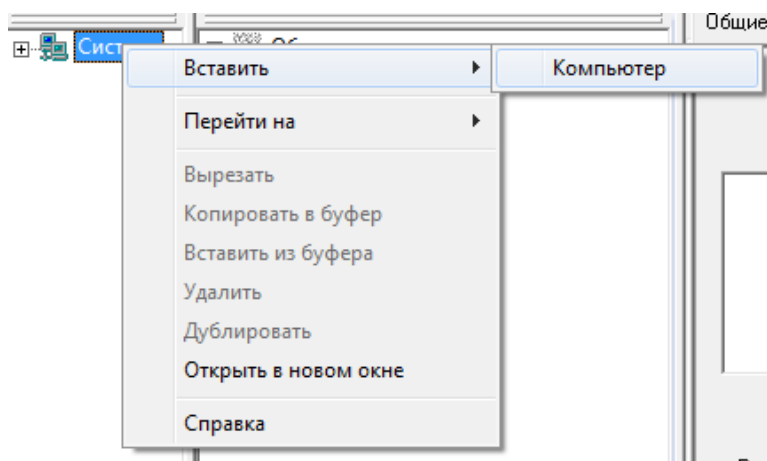


Рисунок А5.4 – Добавление компьютера

Теперь нажав ПК на «titan2», вставьте OPC сервер (рис. А5.5).

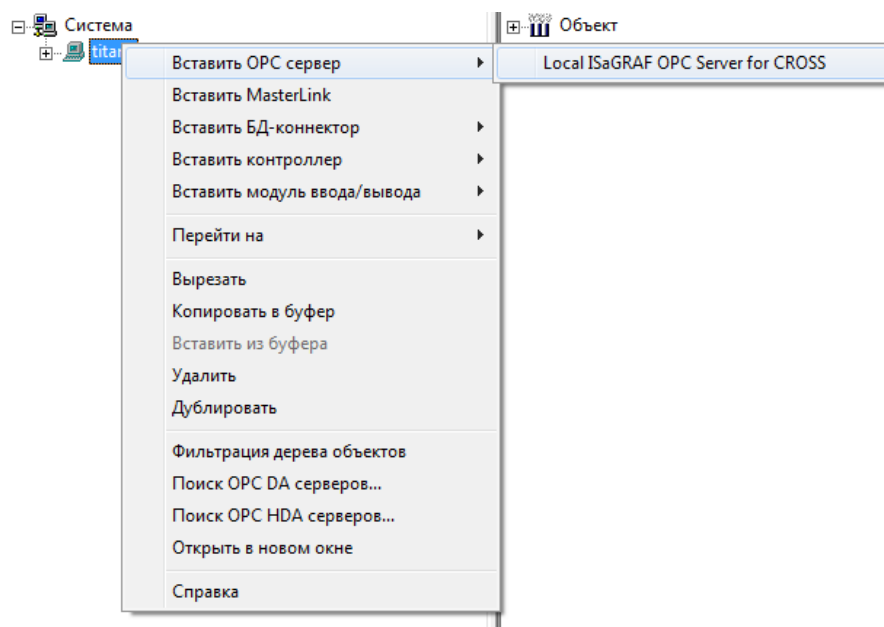


Рисунок А5.5 – Вставка OPC сервера

Доступ к данным OPC серверов осуществляется через OPC переменные в MasterSCADA.

Существует три основных вида OPC переменных:

- для чтения (отображается в дереве значком выхода ➡);
- для записи (отображается в дереве значком входа ➡);
- для чтения и записи (отображается в дереве значком ↔).

Вставьте OPC переменные, как показано на рисунке А5.6:

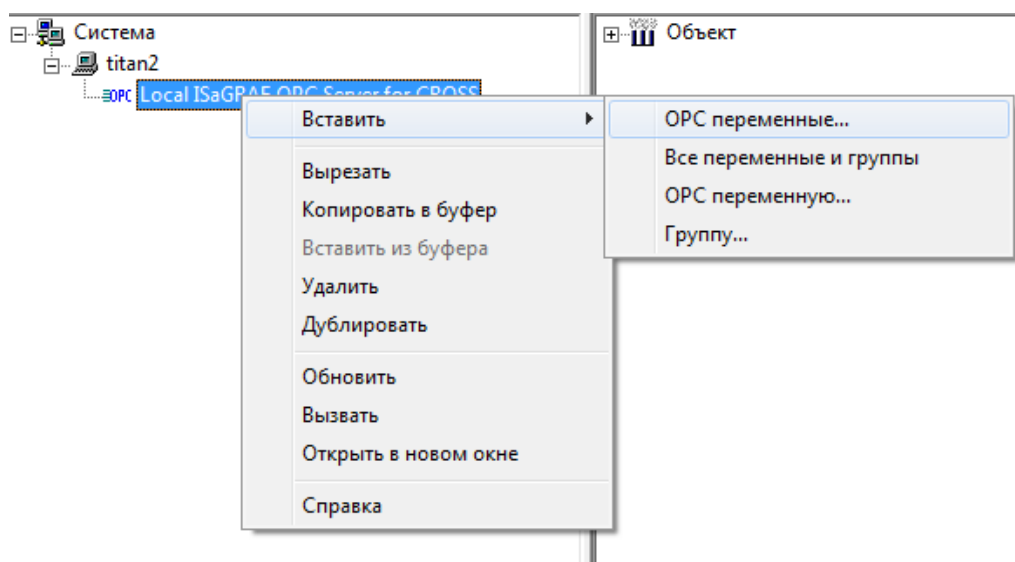


Рисунок А5.6 – Вставка переменных

В появившемся окне «Свойства: выбор переменных» поставьте галочку, как показано на рисунке А5.7. В результате все переменные ISaGRAF, используемые при написании технологической программы пользователя будут доступны в MasterScada. В дереве системы эти переменные будут отображаться, как показано на рисунке А5.8.

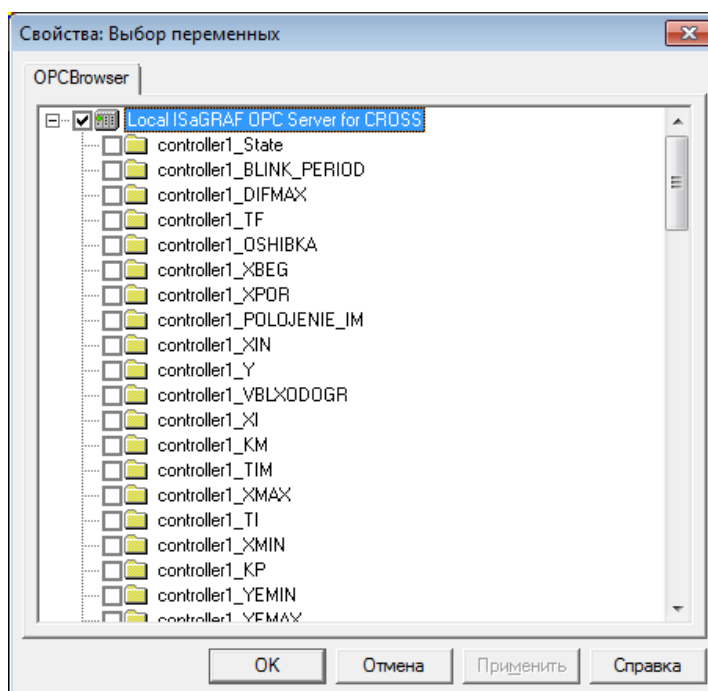


Рисунок А5.7 – Выбор переменных

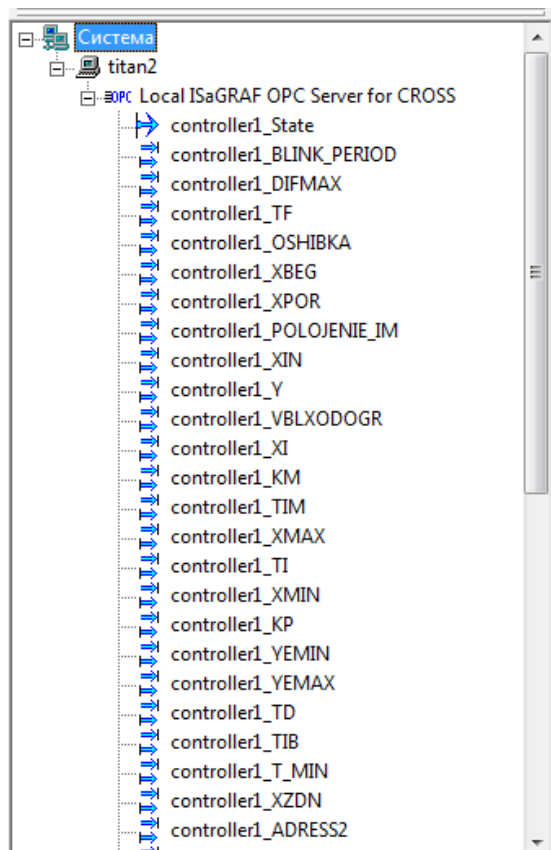


Рисунок А5.8 – Переменные в дереве системы

5.2 Создание мнемосхемы

Для того чтобы создать графическую часть проекта, необходимо работать с деревом объекта. Дерево объектов, включает в себя объекты, переменные, группы переменных, функциональные элементы.

Основной объект – Лабораторный комплекс, включает в себя Объект Тепловая камера, в состав которого входят основные составляющие лабораторного комплекса управления тепловым объектом (рисунок А5.9).

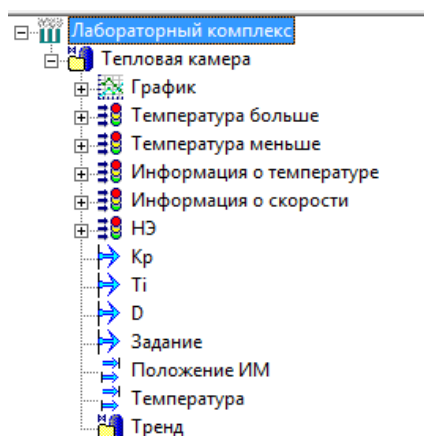


Рисунок А5.9 – Дерево объекта

Рассмотрим теперь последовательно, как создавать данные элементы проекта.

Выделите «Объект», на Странице свойств элементов выберете компьютер «titan2», здесь же можно поменять имя объекта («Лабораторный комплекс») и добавить комментарий (рисунок А5.10).

Рисунок А5.10 – Страница свойств элемента «Лабораторный комплекс»

Далее выделите «Объект Лабораторный комплекс» и щелкните по нему правой клавишей (ПК), выберете ВСТАВИТЬ/ОБЪЕКТ (рисунок А5.11).

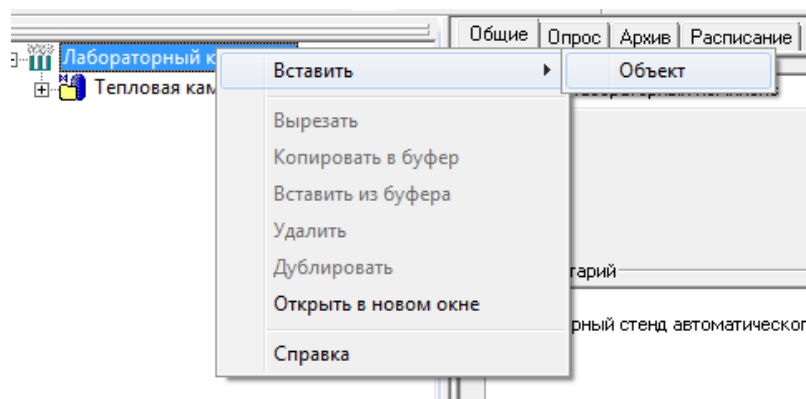


Рисунок А5.11 – Добавление объекта

В странице свойств Объекта 1 выберете компьютер «titan2», здесь же можно поменять имя объекта («Тепловая камера»). Число мнемосхем в проекте не ограничено, но число мнемосхем объекта ограничено – объект может иметь по одной мнемосхеме каждого разрешенного в проекте типа. Именно поэтому для создания нескольких мнемосхем необходимо создавать несколько объектов, у каждого из которых будет своя мнемосхема. В данном примере мы будем рассматривать проект с двумя объектами, одним из которых будет являться тренд, соответственно нам надо будет создать две мнемосхемы.

Для перехода на мнемосхему необходимо выделить Объект «Тепловая камера» и на странице свойств элемента перейти на закладку «Окна», где по умолчанию должна быть выбрана мнемосхема, нажать на кнопку РЕДАКТИРОВАТЬ (рисунок А5.12).

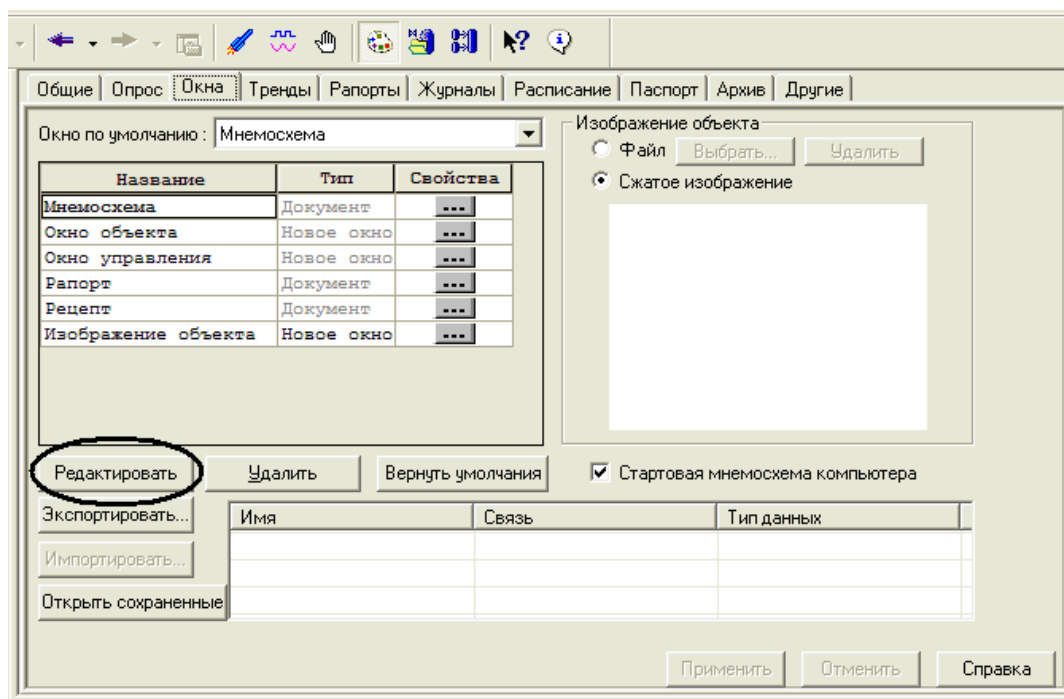


Рисунок А5.12 – Создание мнемосхемы

Впоследствии переход на мнемосхему будет осуществляться таким образом: выделите в дереве объектов Объект «Тепловая камера» и щелкните по нему ПК, выберите ПЕРЕЙТИ НА/МНЕМОСХЕМА. В итоге появится окно редактора мнемосхем (рисунок А5.13).

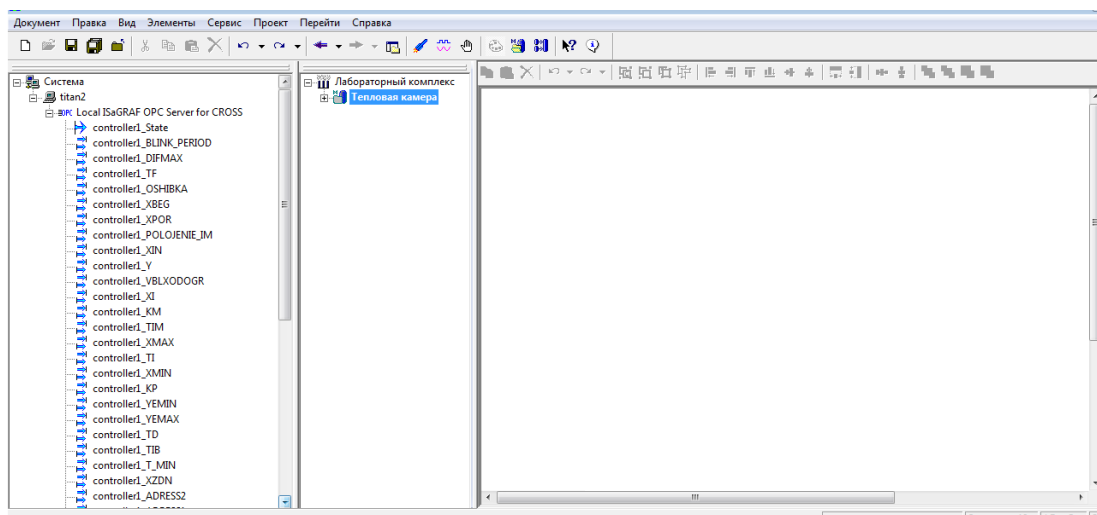


Рисунок А5.13 – Окно редактора мнемосхемы

Данная мнемосхема будет служить для отображения установки регулирования температуры.

Основной способ создания мнемосхем - перетаскивание из дерева проекта объектов, визуальных функциональных блоков и переменных, уже обладающих всей необходимой функциональностью (изображение, динамизации, окна управления и т.п.).

5.3 Создание элементов мнемосхемы

Для визуализации тепловой камеры, необходимо перейти на мнемосхему и воспользоваться палитрой элементов. Выбрав в палитре Графические примитивы, создаем камеру (рисунок А5.14). Для этого выбираем из Графических примитивов прямоугольник трехмерный и прорисовываем форму камеры.

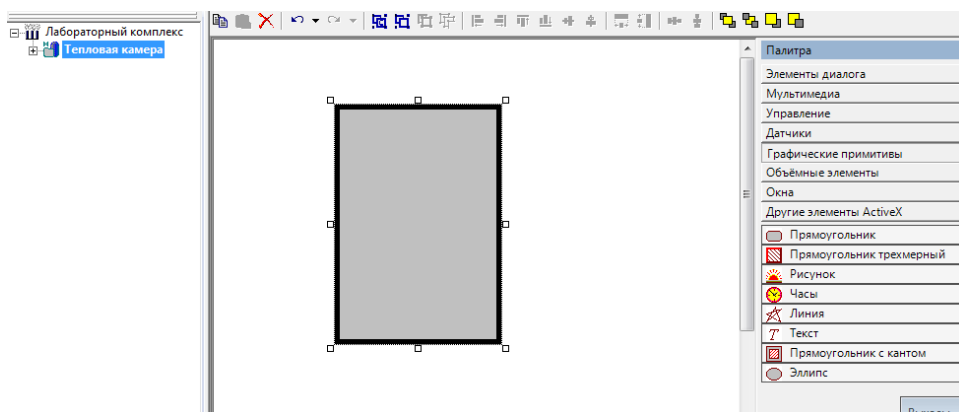


Рисунок А5.14 – Создание камеры

Если вызвать ПК свойства прямоугольника, можно поменять цвет прямоугольника: цвет заливки, цвет штриховки и цвет границы (рисунок А5.15).

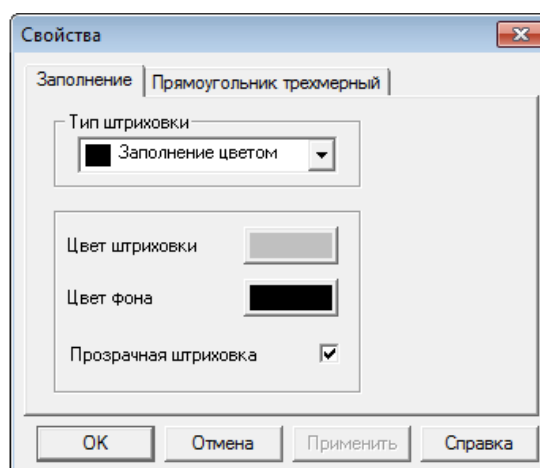


Рисунок А5.15 – Окно свойств элементов

Также можно добавить *текстовую надпись* для тепловой камеры. Чтобы добавить надпись перейдите на мнемосхему, в палитре щёлкните ЛК **ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИМИТИВЫ/ТЕКСТ**. Далее вставьте текст в нужное место на мнемосхеме. Настройте необходимые параметры, щёлкнув ПК мыши и, выбрав в раскрывающемся списке Свойства.

Аналогичным образом создаём чувствительный элемент датчика температуры, который входит в состав тепловой камеры для чего используем Объёмные элементы из палитры и выбираем цилиндр, так как форма чувствительного элемента датчика температуры представляет собой цилиндр (рис. А5.16).

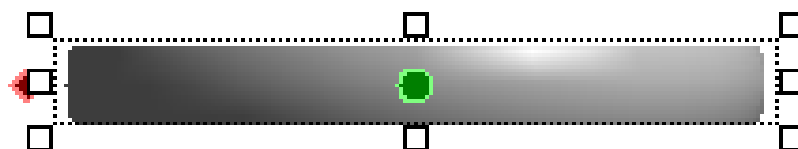


Рисунок А5.16 – Чувствительный элемент датчика температуры




Корпус датчика температуры можно изобразить в виде трехмерного прямоугольника, рисунок А5.17.



Рисунок А5.17 – Датчик температуры

Таким образом, создаем все остальные элементы лабораторного стенда «Система автоматического регулирования температуры» согласно структурной схеме лабораторного комплекса.

5.4 Создание графика

Перейдите в свойства объекта нажав пиктограмму . Затем выделите объект «Тепловая камера» и нажмите в нижней части экрана на пиктограмму «Датчики»  Датчики. После щелкнув левой кнопкой мыши на объект «График»  График перетащите его в «Тепловая камера».

Перейдите в свойства графика и нажмите на вкладку «Настройки», в строке «Число параметров» укажите 2. Затем из списка OPC-переменных выделите переменные X_{in} и присвойте параметру 0, а переменную X_{zdn} присвойте параметру 1. Связанные элементы обозначатся розовой чертой (рисунок А5.18).

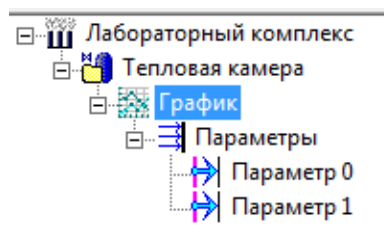


Рисунок А5.18 – Создание графика в дереве объектов

Затем перетащите график из дерева объектов на мнемосхему. График предназначен для отображения аналоговых значений переменных, которые содержат информацию о текущей температуре и заданной температуре. В свойствах можно изменить вид графика (рисунок А5.19).

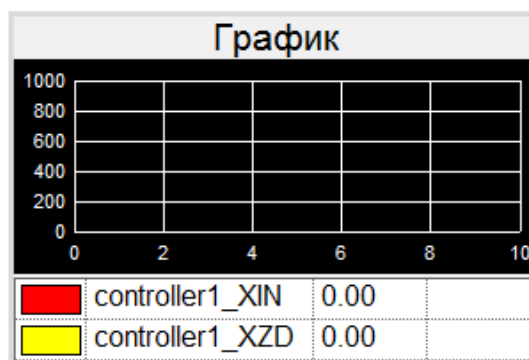



Рисунок А5.19 – График

Внимание: здесь и в дальнейшем для проверки работоспособности созданных элементов или их свойств используйте режим Отладка. Вы можете задавать значения необходимых параметров (переменных) и наблюдать результат их воздействий на мнемосхеме. Например, в дереве объектов ЛК мыши нажмите на параметр 0 и во вкладке «Опрос» выберите пункт «Имитация», то же самое сделайте с параметром 1. Чтобы на графике можно было увидеть изменения значений параметров, необходимо в той же вкладке «Опрос» для каждого из параметров установить различные законы, по которым эти параметры будут изменяться. Например, выберите для параметра 0 закон «По умолчанию», а для параметра 1 – «Синусоида». Затем включите режим «Отладка» и вы сможете увидеть, как изменяются значения на графике.

5.5 Индикаторы температуры

Далее в дереве объекта «Тепловая камера» необходимо разместить два индикатора температуры, которые будут сигнализировать в зависимости от достижения температурой нижней или верхней границы диапазона. Так же как и было описано в пункте 5.4 нажмите на пиктограмму «Датчики» затем

левой кнопкой мыши перетащите в дерево объекта два элемента «Индикатор состояния»  Индикатор состояния. В свойствах этих элементов поменяйте названия на «Температура больше» и «Температура меньше». Далее присвойте индикаторам состояния OPC-переменные Dogrmax и Dogrmin. Это переменные булевского типа. Индикаторы имеют два выхода: 0 и 1. В зависимости от того, к какому входу будет присвоена OPC-переменная данный элемент будет индицироваться (гаснуть или загораться). В нашем случае переменную Dogrmax присваиваем индикатору «Температура больше» к входу 1, а переменную Dogrmin к индикатору «Температура меньше» к входу 1. Таким образом, когда температура достигнет верхнего предельного значения загорится индикатор «Температура больше», а при достижении нижнего предельного значения – «Температура меньше». После проделанных манипуляций, дерево объекта примет вид, представленный на рисунке А5.20.

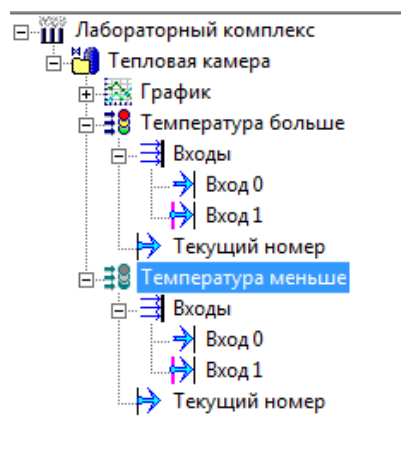


Рисунок А5.20 – Добавление индикаторов в дерево объекта

Все тоже самое нужно проделать для OPC-переменных Difmax_sounding, Dostov_temp и изменить названия индикаторов: «Информация о температуре», «Информация о скорости». Переменную Difmax_sounding присваиваем элементу «Информация о скорости», а переменную Dostov_temp – элементу «Информация о температуре». Далее

добавляем индикатор состояния НЭ (нагревательный элемент). Однако к нему не будет присвоена ни одна переменная, так как данный элемент будет активен постоянно (положим, что нагревательный элемент постоянно включен). Для этого во вкладке «Опрос» выберем пункт «Имитация». После проделанных манипуляций, дерево объекта примет вид, представленный на рисунке А5.21.

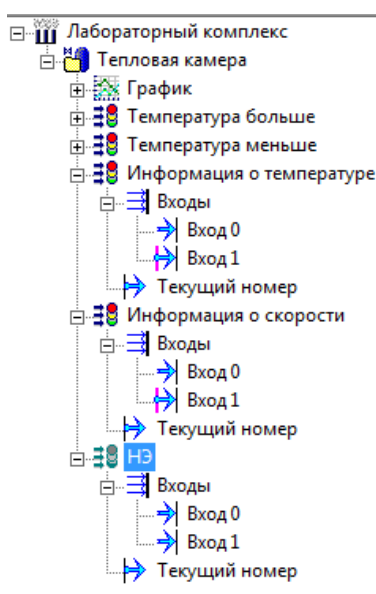


Рисунок А5.21 – Настройка динамизации свойства

5.6 Создание изображения прибора для задания температуры

Для начала выделите в дереве объект «Тепловая камера», затем нажатием правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню и выберите ВСТАВИТЬ/КОМАНДУ. Затем в окне свойств поменяйте название на «Задание». После этого необходимо присвоить этой команде переменную Xzdn. Далее выделите команду «Задание» и удерживая правой кнопкой мыши перенесите её на рабочую область, а затем отпустите. После этого появится окно выбора, где нужно выбрать пункт «Слайдер». Таким образом, на мнемосхеме появится изображение устройства, при помощи которого можно задавать значение температуры (рисунок А5.22).

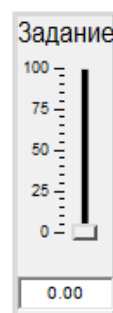


Рисунок А5.22 – Слайдер для задания температуры

В свойствах данного элемента можно изменять цвет, шрифт, шкалу и т.д.

5.7 Создание значений температуры и положения исполнительного механизма

Выделите в дереве объект «Тепловая камера», затем нажатием правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню и выберите ВСТАВИТЬ/ЗНАЧЕНИЕ. Поменяйте название данного элемента на «Положение ИМ» (положение исполнительного механизма). Затем присвойте этому элементу переменную `Polojenie_IM`. Аналогично добавляем значение для отображения текущей температуры. Для этого присваиваем элементу «Температура» переменную `Xin`. Таким образом дерево объекта примет вид, представленный на рисунке А5.23.

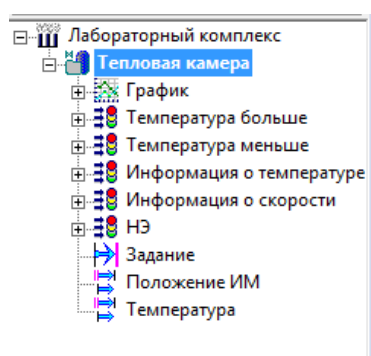


Рисунок А5.23 – Добавление в дерево значений температуры и положения исполнительного механизма

Для того, чтобы текущие значения температуры и положения исполнительного механизма отображались на мнемосхеме выделяем эти значения и правой кнопкой мыши перетаскиваем на рабочую область. На рисунке А5.24 представлено изображение этих параметров.

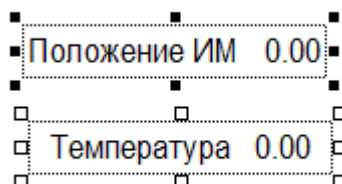


Рисунок А5.24 – Отображение значений температуры и положения ИМ

5.8 Создание окна управления для настройки ПИД-регулятора

Для настройки коэффициентов ПИД-регулятора необходимо в дерево объекта добавить три команды: Кр, Ti, Td. Всем этим командам присвойте переменные Кр, Ti, D соответственно.

Для удобства можно переместить все значения вверх или вниз по дереву выбрав направление в контекстном меню нажатием правой кнопки мыши. После выполненных манипуляций дерево объекта примет вид, представленный на рисунке А5.25.

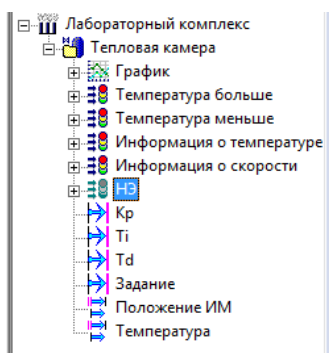


Рисунок А5.25 – Добавление команд для параметров ПИД-регулятора

После этого переносим все команды на мнемосхему как было описано выше. Три составляющие ПИД-регулятора можно оформить в отдельную рамочку используя графические примитивы.

6 Создание Тренда

Тренд - отображение графиков изменения данных технологического процесса с течением времени. В MasterSCADA совмещен просмотр архивных (исторический тренд) и текущих (тренд реального времени) данных на одном графике. С помощью кнопок можно добавлять, изменять и удалять тренды для Объекта. Для того, чтобы значения переменной Объекта появились в тренде достаточно "перетащить" ее из дерева объектов в окно тренда.

Создайте Объект «Тренд». На странице свойств элементов откройте закладку Тренды.

Нажмите кн. Добавить, присвойте имя тренду. Выберите тип, настройте свойства (рисунок А6.1).

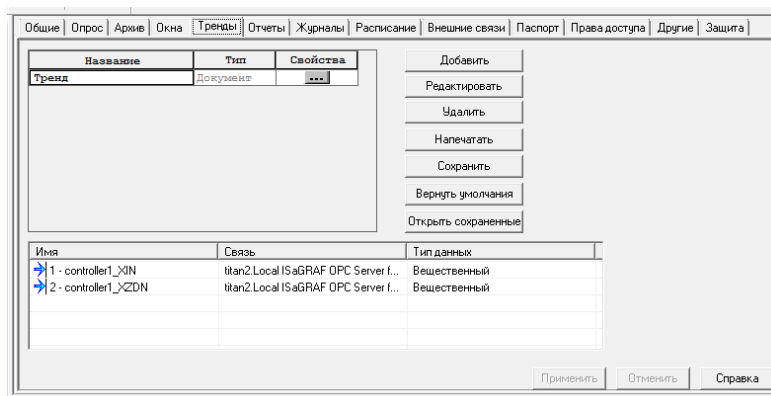


Рисунок А6.1 – Создание тренда

Нажмите кн. Редактировать. В появившееся окно тренда перетащите необходимые переменные (рисунок А6.2).

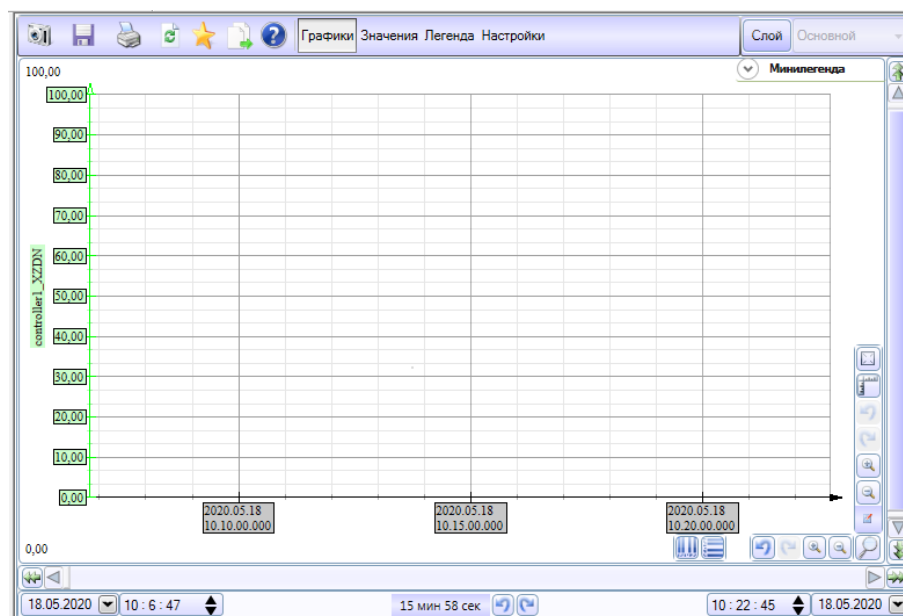


Рисунок А6.2 – Окно тренда

Далее необходимо создать кнопку «Тренд» на мнемосхеме. Для этого перейдите на мнемосхему и перетащите на рабочую область объект «Тренд». На мнемосхеме данный объект сохранится в виде кнопки, при помощи которой можно перейти на тренд. В свойствах кнопки можно настроить её вид и параметры вызываемого ей окна (рисунок А6.3).



Рисунок А6.3 – Кнопка для перехода на тренд

Дерево объектов в итоге примет следующий вид (рисунок А6.4).

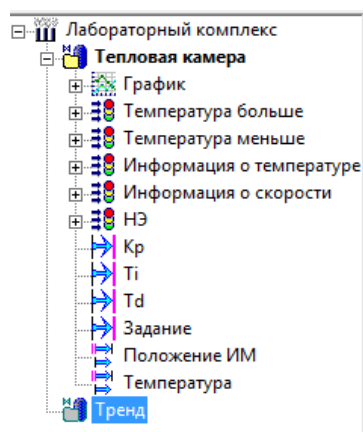


Рисунок А6.4 – Итоговый вид дерева объектов

7 Создание главного окна «Контроль и управление»

Главное окно «Контроль и управление» состоит в основном из графических примитивов, находящихся в палитре. Используя описанные выше элементы и инструменты, доступные в свойствах каждого элемента можно составить мнемосхему для управления лабораторным комплексом «Система автоматического регулирования температуры».

На рисунке А7.1 представлен примерный вид мнемосхемы.

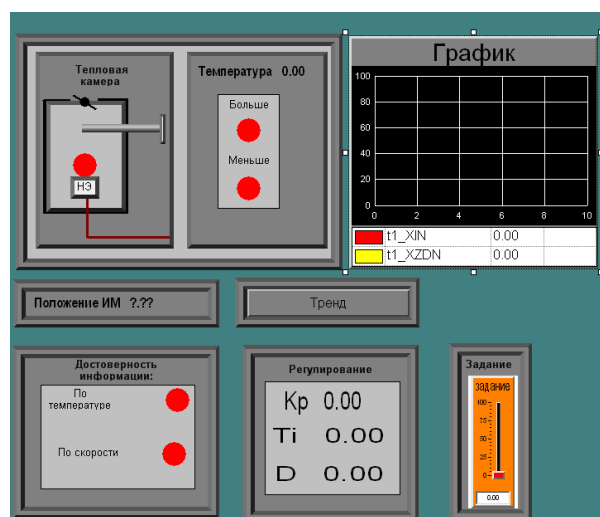


Рисунок А7.1 – Мнемосхема для контроля и управления лабораторным комплексом

8 Задание на лабораторную работу

1. Настройте OPC сервер.
2. Запустите программу, описанную выше и проверьте ее работоспособность.
3. Составьте программу визуализации и управления тепловым объектом. Программа должна содержать следующие элементы:
 - тренд изменения температуры;
 - график изменения температуры и порогов сигнализации;
 - команды для настройки параметров регулятора;
 - команду изменения уставки регулятора;
 - мнемонические индикаторы для отображения предупредительной сигнализации по превышению или понижению температуры в тепловой камере.
4. На лабораторном комплексе проверьте работоспособность составленной программы. Задайте с помощью созданной программы параметры для правильного функционирования стенда «Система автоматического регулирования температуры» (настройте коэффициенты ПИД-регулятора и задайте значения порогов срабатывания сигнализации:
 - предупредительный: min 25 градусов, max 50 градусов;
 - аварийной: min 20 градусов, max 50 градусов .
5. Добавьте на основную мнемосхему мнемонические индикаторы для отображения предупредительной сигнализации по превышению или понижению температуры в тепловой камере.
6. Подготовьте отчет о работе, который должен содержать:
 1. Цель работы.
 2. Структурную схему лабораторного стенда.
 3. Информацию о настройке OPC .
 4. Дерево системы.
 5. Дерево объекта.

6. Стартовую мнемосхему.
7. Экранные формы, созданные в процессе выполнения лабораторной работы.
8. Ответы на контрольные вопросы.
9. Выводы по работе.

Методические указания по выполнению отдельных пунктов задания

Создайте новый проект на основе п. 5 данного методического пособия.

При создании мнемосхем вы можете изменять изображения и свойства элементов объектов, опираясь при этом на структуру лабораторного комплекса.

Создав очередной элемент в дереве объектов, настройте его свойства на Странице свойств элементов (в последствии, некоторые из этих свойств можно будет изменить непосредственно на мнемосхеме, щёлкнув ПК мыши по изображению элемента).

При необходимости используйте Справку для получения дополнительной информации, нажав кнопку Справка, в окне проекта, либо нажав ПК мыши непосредственно на элементе мнемосхемы или дерева объектов и выбрав Справку.

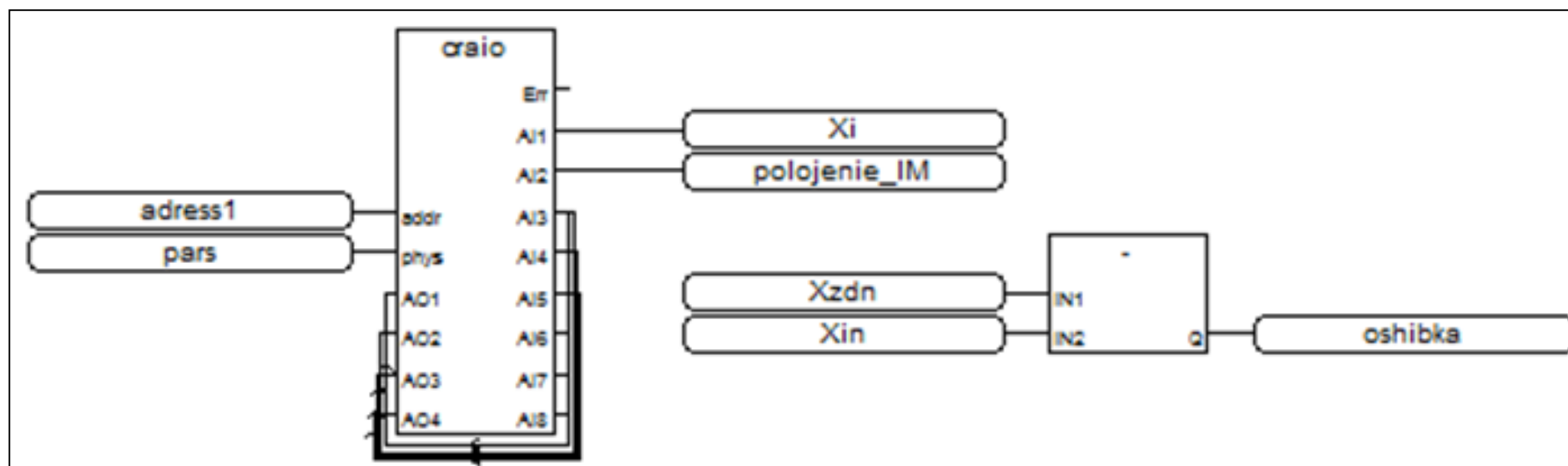
Используйте режим Отладка для проверки работоспособности элементов программы на каком-либо этапе создания программы. При этом вы можете в Дереве объектов задавать необходимые значения, щёлкнув ЛК мыши в поле ввода значений напротив элемента дерева объектов.

9 Контрольные вопросы:

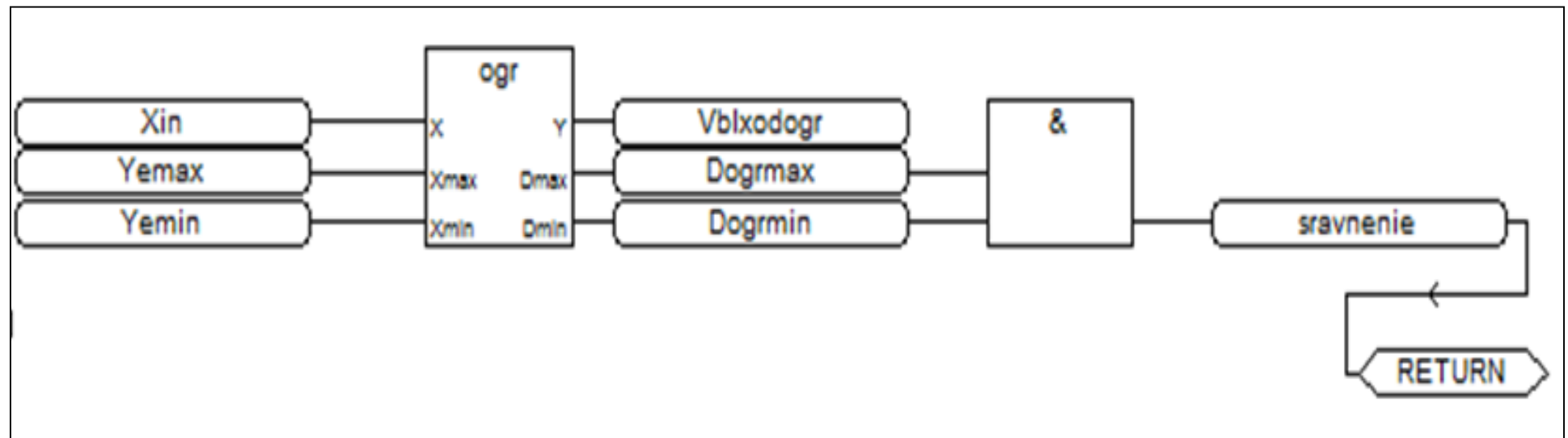
1. Назначение SCADA-систем.

2. Перечислите наиболее распространённые на зарубежном и отечественном рынках SCADA-системы.
3. Перечислите отличительные особенности пакета MasterScada .
4. Для чего используется OPC-сервер?
5. В чем состоит отличие графика от тренда?

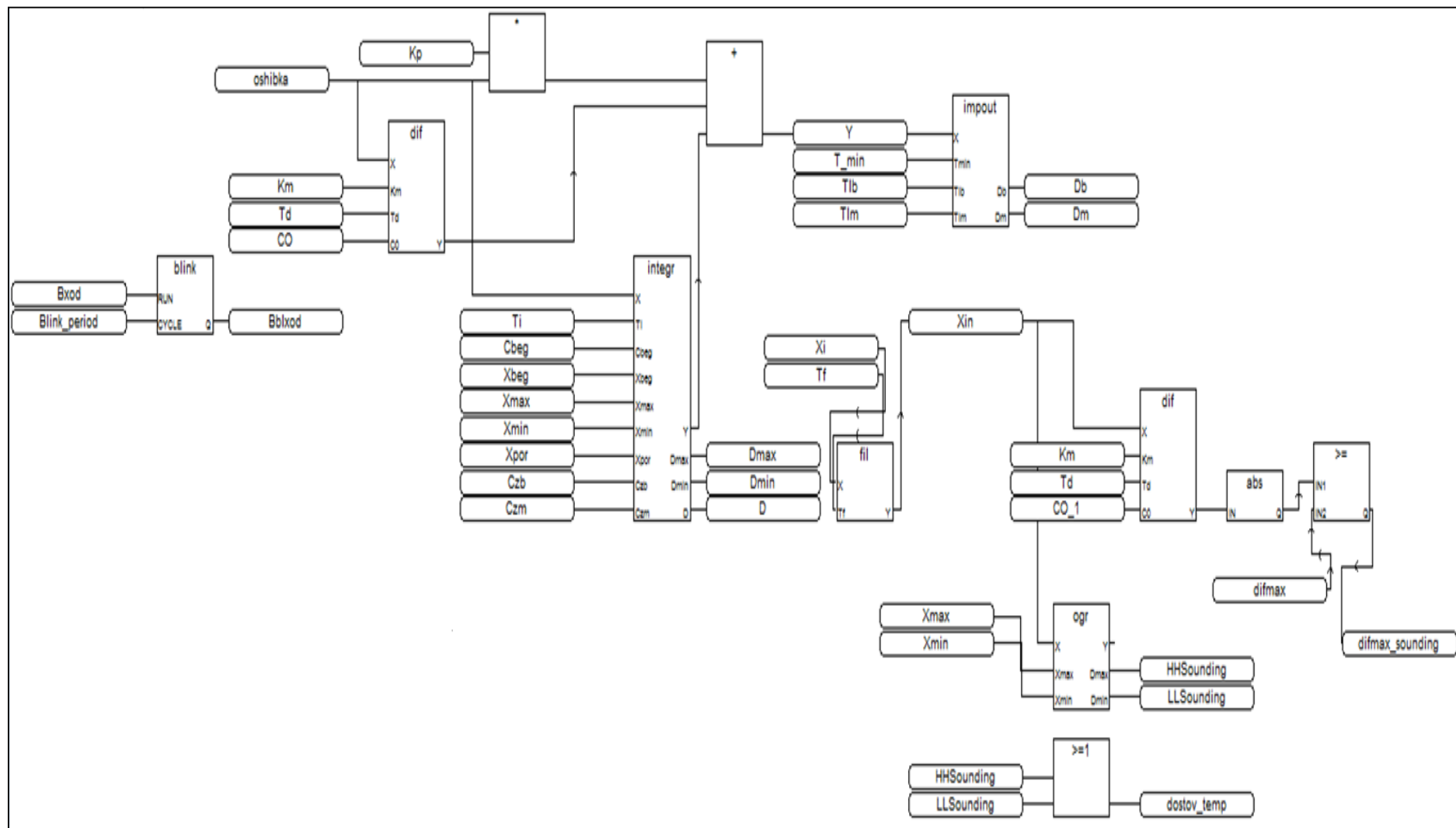
Приложение Б (обязательное). Программа импульсного ПИД-регулятора в системе ISaGRAF на языке FBD



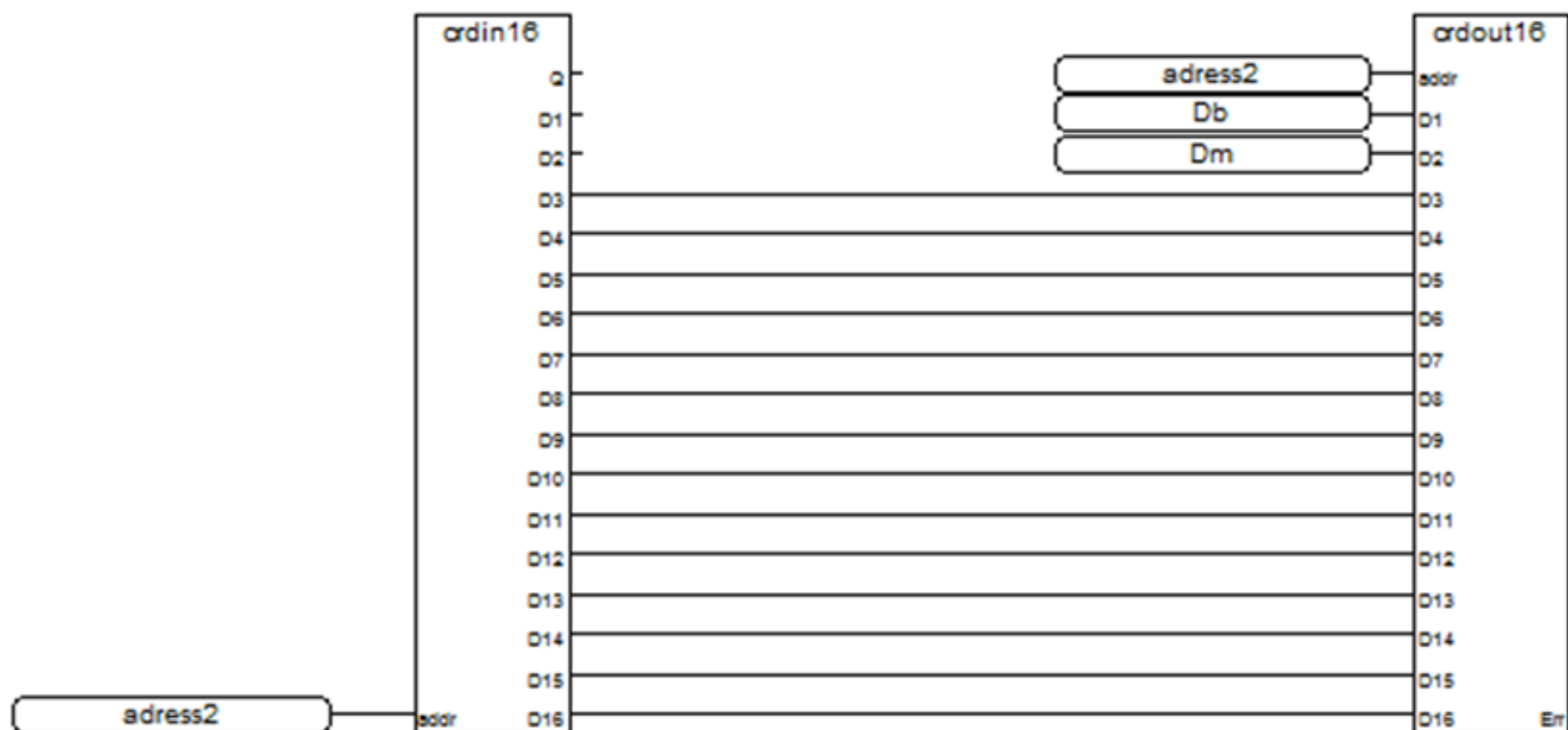
Приложение Б – Продолжение



Приложение Б – Продолжение



Приложение Б – Продолжение



Приложение В (обязательное). Опросный лист для выбора датчика температуры

Информация о заказчике			
Предприятие:	ТПУ	Дата заполнения:	20.05.2020
Адрес:	г. Томск, Ленина ул. д. 2	Тел./факс:	+7 952 157 89 83
Контактное лицо:	Сулиев А.Д.	E-mail:	azif.suliev.89@list.ru
Опросный лист/позиция:	1	Количество, шт.:	1
Параметры измеряемой среды			
Измеряемая среда:	<input type="checkbox"/> жидкость <input checked="" type="checkbox"/> газ <input type="checkbox"/> другое (указать) _____		
Диапазон измеряемых температур, °С	Мин 20 °С	Макс 100 °С	
Давление измеряемой среды, МПа	100 кПа		
Скорость потока измеряемой среды, м/с	0		
Параметры установки датчика температуры			
Место монтажа:	тепловая камера		
Диапазон температуры окружающей среды, °С	Мин 18 °С	Макс 25 °С	
Группа вибропрочности по ГОСТ 52931-2008	<input checked="" type="checkbox"/> ВЗ <input type="checkbox"/> ВЗ <input type="checkbox"/> F2 <input type="checkbox"/> F3 <input type="checkbox"/> G2 <input type="checkbox"/> другое (указать) _____		
Первичный преобразователь (без защитной гильзы)			
Термопреобразователь сопротивления (ТС)		Термоэлектрический преобразователь (ТП)	
<input checked="" type="checkbox"/> 1 ЧЗ <input type="checkbox"/> 2 ЧЗ		<input type="checkbox"/> 1 спай <input type="checkbox"/> 2 спай	
Номинальная статическая характеристика (НСХ)			
<input type="checkbox"/> 50М	<input type="checkbox"/> 50П	<input type="checkbox"/> Pt100	<input type="checkbox"/> ХА(К) <input type="checkbox"/> ХК(Л) <input type="checkbox"/> ЖК(Л) <input type="checkbox"/> НН(Н)
<input checked="" type="checkbox"/> 100М	<input type="checkbox"/> 100П	<input type="checkbox"/> Pt1000	<input type="checkbox"/> ПП(С) <input type="checkbox"/> ПП(С) <input type="checkbox"/> ПП(С) <input type="checkbox"/> ПП(С)
			<input type="checkbox"/> ПП(Р) <input type="checkbox"/> ПР(В) <input type="checkbox"/> ПР(В) <input type="checkbox"/> ПР(В)
Другая НСХ _____		Рабочий спай: <input type="checkbox"/> Изолированный <input type="checkbox"/> Неизолированный	
Класс допуска ГОСТ 6651-2009		Класс допуска ГОСТ Р 8.585-2001	
<input type="checkbox"/> А <input type="checkbox"/> В <input checked="" type="checkbox"/> С		<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	
Схема соединений			
<input type="checkbox"/> 2-х проводная <input checked="" type="checkbox"/> 3-х проводная <input type="checkbox"/> 4-х проводная		2-х проводная	
Диаметр защитной арматуры (без учета гильзы)		8 мм	
Длина монтажной части (глубина погружения)		100 мм	
Способ крепления первичного преобразователя			
<input type="checkbox"/> без штуцера <input type="checkbox"/> подвижный штуцер <input checked="" type="checkbox"/> неподвижный штуцер <input type="checkbox"/> передвижной штуцер			
<input checked="" type="checkbox"/> фланец <input type="checkbox"/> другое _____		Резьба штуцера: <input type="checkbox"/> M20x1,5 <input checked="" type="checkbox"/> G1/2 <input type="checkbox"/> другая _____	
Удлинительный кабель (для кабельных ТС и ТП), _____ мм (Базовое исполнение 1500 мм)			
Защитная гильза. Материал защитной гильзы: 12Х18Н10Т			
<input checked="" type="checkbox"/> не требуется:		<input type="checkbox"/> керамическая _____	
<input type="checkbox"/> сварная (до 25 МПа) Резьба _____		<input type="checkbox"/> цельноточеная (до 50 МПа) Резьба _____	
<input type="checkbox"/> фланцевая (до 16 МПа) Ду _____ Ру _____		<input type="checkbox"/> сварная (до 50 МПа)	
Тип _____			
Соединительная головка			
<input type="checkbox"/> не требуется <input type="checkbox"/> алюминиевый сплав (базовое) <input type="checkbox"/> нержавеющая сталь <input checked="" type="checkbox"/> пластик АБС			
Тип кабельного ввода:			
<input type="checkbox"/> сальник <input checked="" type="checkbox"/> разъем _____	<input type="checkbox"/> под металлорукав, _____ мм	<input type="checkbox"/> под пластиковую гофру, _____ мм	<input type="checkbox"/> другой _____
Взрывозащита			
Искробезопасная электрическая цепь Ex ia		Взрывонепроницаемая оболочка Exd	
<input checked="" type="checkbox"/> 1Ex ia IIC T6 X (-50...80°С) <input type="checkbox"/> 1Ex ia IIC T5 X (-50...100°С)		<input type="checkbox"/> 1Exd IIC T6 X (-50...80°С) <input type="checkbox"/> 1Exd IIC T5 X (-50...100°С)	
		<input type="checkbox"/> кабельный ввод для трубного монтажа КТ <input type="checkbox"/> кабельный ввод под металлорукав КВМ-Вн <input type="checkbox"/> кабельный ввод для бронированного кабеля – КБ	

Приложение В – Продолжение

[illegible]

Приложение Г (обязательное). Опросный лист для выбора асинхронного электродвигателя

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ

для выбора асинхронных электродвигателей высокого напряжения

Наименование организации: ТПУ
 Адрес: г.Томск, Ленина пр-кт, д. 2
 Контактное лицо: Сулнев А.Д. Тел./факс: +7 952 157 8983

Требуемые номинальные характеристики двигателя:

Напряжение: 127 В Режим работы: Двигательный
 Ч стота питающей сети: 50 Гц Монтажное исполнение: фланец
 Мощность: 7,8 Вт Класс изоляции обмотки статора Y
 Скорость вращения: 1,75 об/мин Степень защиты IP-44
 Номинальный ток: 0,06 А Метод охлаждения IC00 - IC0A0
 КПД: 6 % $\cos \varphi$: 0,8 Высота ос вращения 85 мм
 Кратность пускового тока 7 Пуск:
 Кратность пускового момента 7 под нагрузкой без нагрузки
 Требования к сети: Метод пуска: прямой плавный
 Минимальное U сети 127 В Количество пусков в час:
 Мощность сети 0,4 KVA в холодном состоянии 5
 в горячем состоянии 2

Приводной механизм:

Тип: ручной Момент инерции механизма: 0.0000035 кгм²

Условия окружающей среды:

Климатическое исполнение: УХЛ4
 Температура окружающей среды: +5 /+ 60 °C влажность: до 98 %
 Установка: внутренняя наружная
 Атмосфера: нормальная коррозионная взрывоопасная

Взрывозащита: не требуется Тип взрывозащиты _____ - _____

Опасная зона: 0 1 2

Газовая группа: IIa IIb IIc

Температурный класс: T1 T2 T3 T4 T5 T6

Дополнительные сведения: _____

Количество заказываемых двигателей 1 шт.

Корректно заполненный опросный лист с максимальным содержанием сведений позволит подобрать для Вас оптимальный электродвигатель в кратчайший срок!